Der Großstadteinfluß auf nichtstationäre Regenfronten und ein Beitrag zur Bildung lokaler Wärmegewitter

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
genehmigt von
der Philosophischen Fakultät der Universität Berlin

von
Wilhelm Belger
aus Gröbzig (Anhalt)

Tag der Promotion: 21. Mai 1940

Tag der Prüfung: 28. Juni 1935

Dissertationsdruckerei Orthen, Köln, Antoniterstraße 10.
1940.

P 7

Berichterstatter
Prof. Dr. Knoch
Prof. Dr. von Ficker

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltsverzeichnis.

Seite

A. Einleitung 5

B. Wetterlagen.

7. Juli 1931 7
Der Starkregen in Berlin 10
Die Niederschlagssumme 12
Die Regendauer 14
Die Regendichte 14
Der Regenbeginn 16
Das Regenende 18
Die Zuggeschwindigkeit der Regenfront 19
Die Ausdehnung des Regengebietes 21

4. Oktober 1934 22
Der Starkregen in Berlin 25
Die Regenmenge 27
Die Regendauer 28
Die Regendichte 29
Der Regenbeginn 33
Das Regenende 34
Die Zuggeschwindigkeit der Regenfront 34

22. August 1932 36
Der Starkregen in Berlin 39
Die Niederschlagsmenge 40
Die Regendauer 42
Die Regendichte 44
Der Regenbeginn 46
Das Regenende 48
Die Zuggeschwindigkeit der Regenfront 48
Die Ausdehnung des Regengebietes 50

C. Gewitterregen mit Hagel vom 29. April 1934 50

Die Niederschlagssumme 52
Der Regenbeginn 53
Das Regenende 55
Die Regendauer 56
Die Regendichte 57
Wetterlage am 29. April 1934 58

D. Zusammenfassung 66

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548012_0115

Einleitung.

Die Tatsache einer Beeinflussung meteorologischer Elemente durch die künstliche Anhäufung von Baulichkeiten, die als ganzes die Großstädte ergeben, und die naturgemäß im Gelände einen Faktor darstellen, der dem Ablauf von Witterungserscheinungen eine vom normalen mehr oder minder stark abweichende Richtung gibt, ist schon in zahlreichen Arbeiten behandelt worden.

Nachstehend aufgeführten Fällen liegt ursprünglich folgende Fragestellung zugrunde:

Wie verhält sich eine, beispielsweise aus westlicher Richtung nach Osten vorstoßende Kaltfront, wenn sie auf ihrem Wege das Gebiet einer Großstadt, in diesem Falle Berlin, erreicht und darüber hinweg zieht.

Die Beantwortung dieser Frage hängt allein ab vom Vorhandensein einer größeren Anzahl Registrierinstrumente, die auch mit entsprechender Genauigkeit laufen und gewartet werden.

Die Stationen in und um Berlin konnten schon rein zahlenmäßig diese Forderung nicht erfüllen, hinzu kommt die Schwierigkeit, aus einer Registrierung mit 8-Tage-Umlauf der Trommel die markanten Punkte in ihrer zeitlichen Lage so genau zu bestimmen, wie es für Untersuchungen vorliegender Art notwendig ist, zumal die Zeitdifferenzen, mit denen hier in einem räumlich doch beschränkten Gebiete zu rechnen ist, ziemlich gering sind, und die zum Teil noch durch die instrumentellen Ungenauigkeiten überdeckt werden.

So verlockend der Gedanke auch ist, das Eindringen einer Kaltluftmasse in ein größeres Stadtgebiet genau zu verfolgen und zu klären, mußte diese Aufgabe doch aus den oben geschilderten Gründen zunächst zurückgestellt werden. Diese direkte Methode war vorläufig also nicht anzuwenden.

Nun ist aber das Gebiet Groß-Berlins von einem der Berliner Stadtentwässerung gehörendem Netz von 60 selbstregistrierenden Regenmessern überzogen, das in diesem Umfange seit 5 Jahren Material liefert.

So ergab sich die indirekte Methode, Frontpassagen zu verfolgen, wenn man nämlich von dem Gedanken aus geht, daß ein Regenschauerband, welches eine hereinbrechende Kaltfront als ursächliche Wirkung hat, eben mit dieser Luftmassenscheide vorwärts rückt.

Daraus ergeben sich weiter allerlei Bedingungen, welche die zu behandelnden Fälle erfüllen mußten.

Um einen sicher vergleichbaren Schaueranfang zu erhalten, mußte der Niederschlag ziemlich plötzlich einsetzen. Dabei stellte man fest, wie verhältnismäßig schwierig es ist, Schauerfronten zu finden, die in der hier betrachteten Längserstreckung von immerhin 35 km einen Zustand aufweisen, welcher der geschlossenen idealen Front erheblich nahe kommen muß, weil es andernfalls nicht möglich ist, das Vorrücken des Schauerbandes mit der hier in Frage kommenden Zeitdifferenz von 5 Minuten genau zu verfolgen.

Das Niederschlagsgebiet mußte also in der Hauptsache 3 Merkmale aufweisen:

I. Frontgebunden
II. Schlagartiges Einsetzen
III. Möglichste Geschlossenheit.

Der Ausdruck „frontgebunden" ist so zu definieren, daß man einen derartigen Schauer als unmittelbar der hereinbrechenden Kaltluftmasse zugehörig ansehen kann, ohne Berücksichtigung weiterer Schauer oder Nachläufer, die man im ganzen ja als Frontalschauer zusammenfaßt, und die im Verlauf des Luftmassenwechsels örtlich verschieden auftreten, während der frontgebundene Schauer über einem größeren Gelände deutlich erkennbar und nachzuweisen ist und überall die gleiche Struktur aufweist.

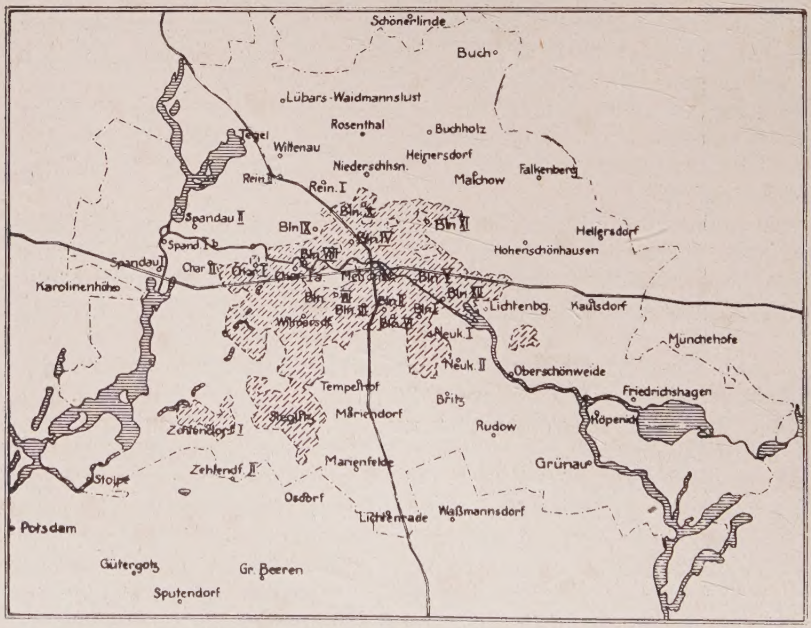
Nach diesen 3 Gesichtspunkten wurden also die ersten 3 Fälle ausgewählt, und das Verhalten der Regenfront beim Passieren des Stadtgebietes einer näheren Betrachtung unterzogen.

Der letzte Fall, vom 29. April 1934, der einen besonders ergiebigen Starkregen über dem Stadtgebiet Berlins behandelt, ist nicht zu den eben angeführten Schauertypen zu zählen.

Er wurde wegen seiner Besonderheit einer eingehenden Prüfung unterzogen, um die meteorologischen Bedingungen festzustellen, unter denen er entstanden ist.

Das dichte Netz der selbstregistrierenden Regenmesser kam dieser Absicht sehr zustatten und erlaubte Vorgänge voneinander zu trennen, die man sonst schwerlich erkennen kann.

In Figur I sind die Stationen eingetragen, die mit Ombrographen ausgerüstet sind.



Die Wetterlage am 7. Juli 1931.

Ein langgestrecktes Gebiet tiefen Druckes, bei verhältnismäßig schwachen horizontalen Druckunterschieden, reicht am 7. Juli, 7 Uhr, vom Mittelmeer bis zu den Färöern. An der Rückseite eines, über der Nordsee liegenden Kernes, strömen kältere maritime Luftmassen gegen das Festland vor. Am Abend des 6. Juli erreichen sie die deutsche Küste, wobei es bei ihrem Einbruch in Hamburg gegen 20 Uhr zu Gewittern und Regenfällen kommt.

Am Morgen des 7. Juli liegt die Kaltluft an der mittleren Elbe. (Fig. 2.)

Ein weiterer Vorstoß findet zunächst nicht statt. Um 14 Uhr ist ihre Lage im wesentlichen unverändert. Nur dem südlichen Teil der Kaltfront gelang es, weiter nach Osten vorzudringen. Hof meldet um:

7 Uhr SE 3 20°
14 Uhr NW 2 19°

Die Temperaturunterschiede beiderseits der Elbe sind beträchtlich. Sie betragen zwischen Berlin und Magdeburg um 7 Uhr 6°, um 14 Uhr sogar 12°. (Fig. 3.)

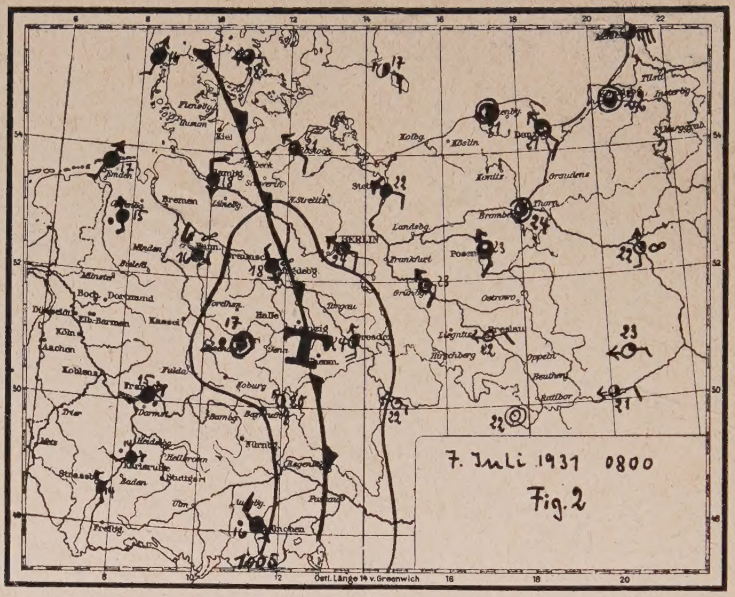
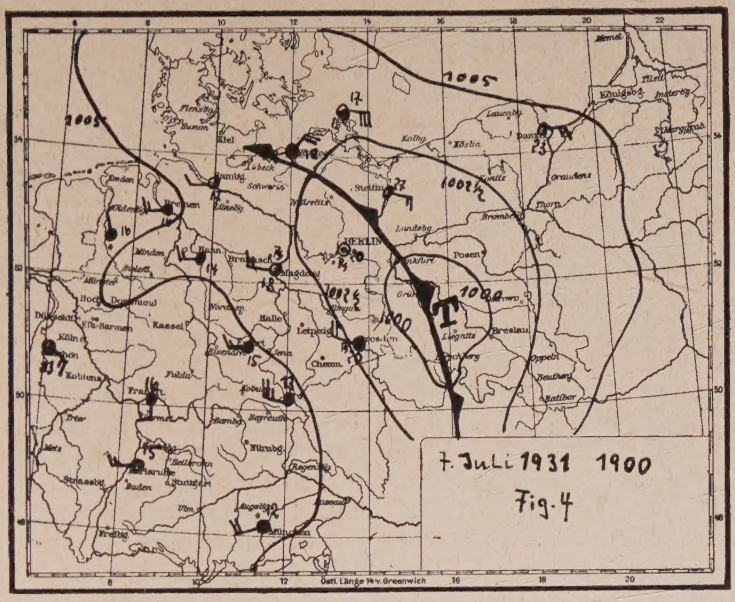
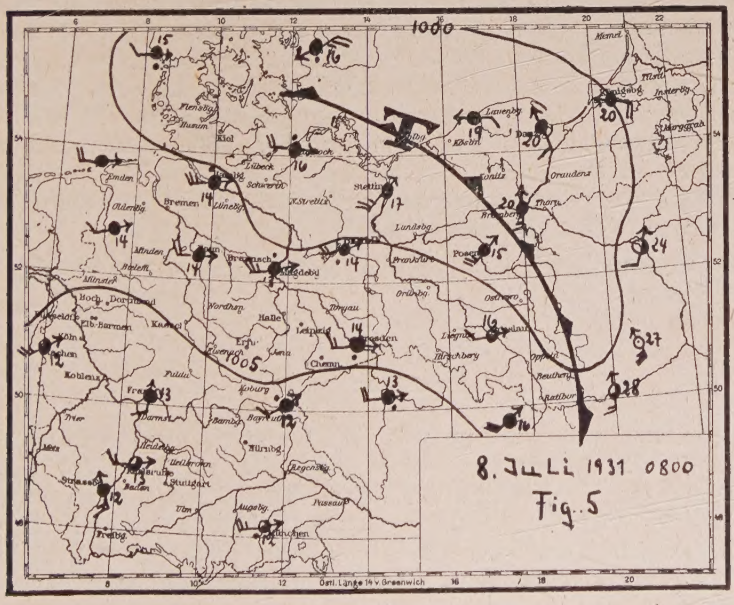


Fig. 2

Fig. 3

So kommt es denn auch zur Neubildung eines Kernes über Mitteldeutschland, der erst ostwärts, dann nach NNE abwandert. (Fig. 4 und 5).





Die Kaltfront, begünstigt durch die Verlagerung der Mitteldeutschen Zyklone, gewinnt am Nachmittag des 7. weiter an Raum.

Nachdem vereinzelt schon am frühen Nachmittag ostelbisch Gewitter auftreten, setzt gegen 16 Uhr verbreitete Gewittertätigkeit ein, um schließlich als Gewitterfront, begleitet von Regen und Hagelböen in nordöstlicher Richtung vorzudringen. Gegen 18 Uhr erreicht die Gewitterfront Berlin, was einer ungefähren mittleren Geschwindigkeit von 40 km/st. entspricht.

Da verschiedentlich zur Zeit des Regenbeginns stürmischer Wind gemeldet wird, z. B.

Könkendorf 18 Uhr
Liebenwalde 19 Uhr (Fig. 7)

ist der Witterungsumschwung ohne weiteres der vordringenden Kaltluft zu zuordnen.

In Zeuthen, südöstlich von Berlin, wird mit Einbruch der Kaltluft um 17.45 Uhr Ferngewitter und Regen beobachtet. Der Wind ist stark böig und dreht um 180°, von Ost auf West.

Die Registrierungen im Berliner Stadtgebiet ergeben folgendes: Die Barometertendenz ist seit Mitternacht (6. z. 7) unregelmäßig fallend. Von 752,8 mm um 21 Uhr, fällt der Druck um 4,1 mm bis zum nächsten Tage 14 Uhr, auf 748,7 mm. Das Temperaturmaximum liegt am 7. Juli kurz nach 14 Uhr mit 30,1 Grad. Der Wind weht mit Stärke 3—4 aus südöstlicher Richtung.

Gegen 17 Uhr springt der Wind von SE auf WNW um, eine Geschwindigkeitsänderung tritt nicht ein, wohl aber ein Absinken der Temperatur um 4,5 Grad. Das Barogramm zeigt ebenfalls keine Aenderung seiner fallenden Tendenz. Irgendwelche anderen meteorologischen Begleiterscheinungen, Niederschlag oder Gewitter, werden noch nicht beobachtet. Um 18.20—18.30 Uhr schnellt die Windgeschwindigkeit auf 10 m/sec. Die Temperatur sinkt um weitere 4°, im Barogramm ist bei einer Druckstufe von 0,8 mm die Gewitternase erkenntlich und schlagartig setzt der Regen mit starken elektrischen Entladungen ein.

Die Böenfront hat also offensichtlich gegen 18.20 Uhr die Stadtmitte erreicht.

Der Starkregen in Berlin.

Wie schon oben erwähnt, setzt beim Eintreffen der Gewitterbö schlagartig der Regen ein. Eine nähere Betrachtung der Registrierungen ergibt, daß sich der durch die einbrechenden Kaltluftmassen ausgelöste Regen aus mehreren Schauern zusammensetzt. Bei der Registrierung vom Meteorologischen Institut am Schinkelplatz sind zwei scharf von einander getrennte Schauer zu bemerken. (Fig. 6)

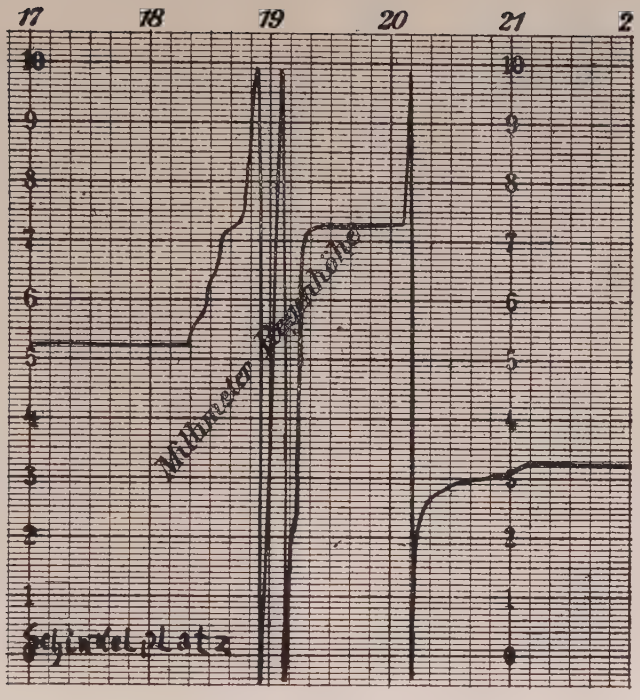


Fig. 6

Der erste setzt gegen 18 Uhr ein, der zweite gegen 20 Uhr. Aber nur der erste Schauer erscheint bei allen Stationen, von denen Registrierungen vorliegen, gut ausgeprägt. Der 20 Uhr Schauer hat die südöstlichen und östlichen Stationen nicht berührt oder nur gestreift. Zum Teil ist auch sein Ende nicht genau festzustellen, sondern er geht in den langsamen Regen über, der zwischen 22 Uhr und 24 Uhr bei allen Stationen einsetzt, bis zum Mittag des nächsten Tages anhält, und die Niederschlagstätigkeit abschließt. Da der 18 Uhr Schauer nun unmittelbar der Böenlinie zugeordnet ist, soll sich die Untersuchung auf diesen beschränken, zumal ja der Durchgang der Regenfront, bezw. ihre mögliche Veränderung durch die Stadtmasse, einer näheren Betrachtung unterzogen werden soll.

Fig. 7 gibt das Vorrücken der Regenfront wieder.

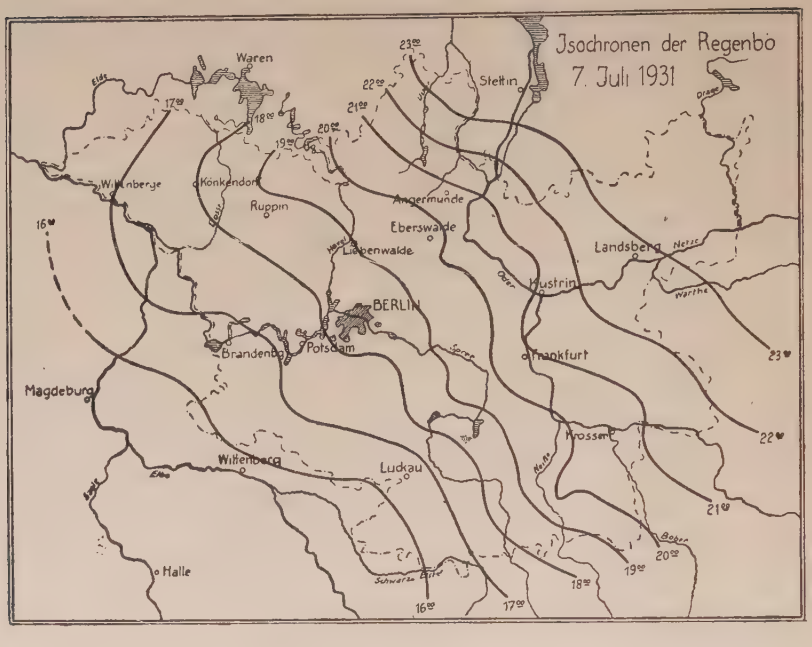


Fig. 7

Die eingetragenen Zeiten sind die von den Regenbeobachtern angegebenen. Trotz der ihnen verständlicherweise anhaftenden Ungenauigkeiten, gewinnt man doch ein deutliches Bild, wie sich die Regen- und Gewitterfront von der Elbe an in Richtung NE durch die Mark Brandenburg vorwärts schiebt. Gegen 18 Uhr erreicht sie Berlin, überquert die Stadt, und wandert nach Nordosten ab.

Die Niederschlagssumme.

Bei der Betrachtung der mengenmäßigen Verteilung des Niederschlages stellt man zunächst fest, daß das Berliner Regengebiet zum Kernstück einer Niederschlagszone gehört, die sich von der mittleren Elbe bis nach Stettin hin erstreckt. (Fig. 8)

Die längliche Form des Regengebietes mag ein weiterer Hinweis auf die ursächliche Wirkung einer Luftmassenscheide sein.

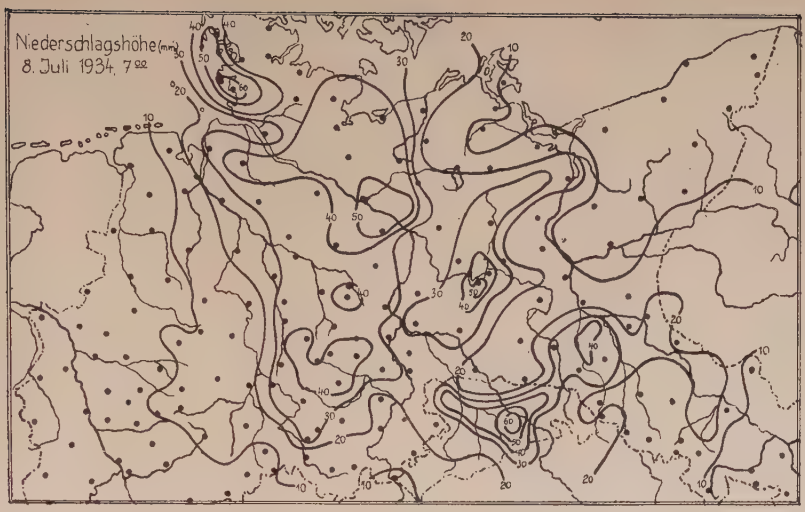


Fig. 8

Das Niederschlagsmaximum im Berliner Gebiet (Fig. 9) liegt nun als langer, breiter Streifen über der mittleren Stadt. Die Pumpwerke I, II und XI haben 28,5 mm, das Met. Inst. 22,5 mm für den 18 Uhr Schauer registriert.

Ein weiteres Maximum von geringerer Ausdehnung findet sich mit 20,1 mm südöstlich der Stadt, bei Rudow. (Fig. 9)

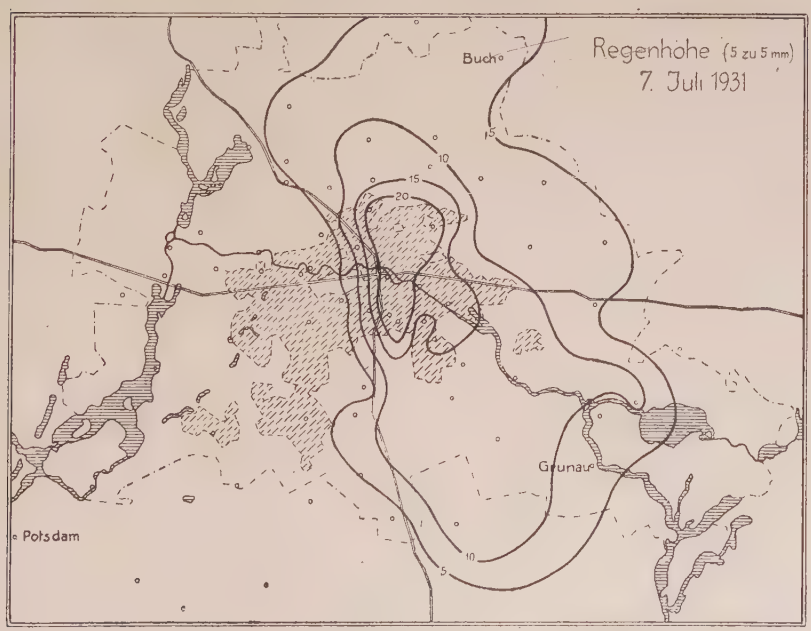


Fig. 9

Die Regendauer.

Glaubt man nun, die Zonen größten Niederschlages wären durch längere Dauer bedingt, so trifft dies nur zum Teil zu. Wohl ist die Regendauer in der Nordsüd Richtung größer als westlich und östlich der Stadt, sie ist aber in der Längsrichtung ziemlich gleichmäßig. (Fig. 10).

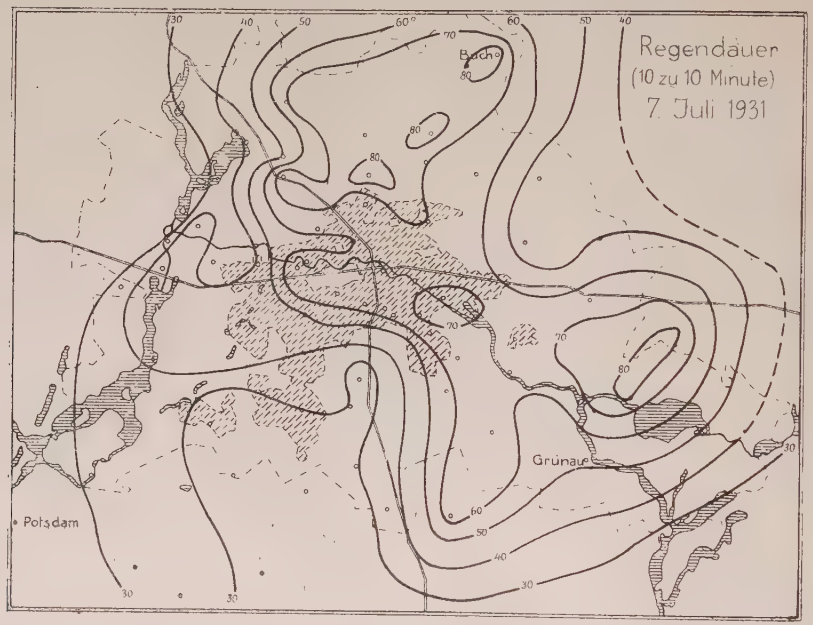


Fig. 10

Die Regendichte.

Berechnet man daraufhin die Intensität des Schauers, so ergibt sich das Bild, wie es Fig. 11 zeigt. Man findet ebenfalls eine überraschende Aehnlichkeit mit der Niederschlagssummenkarte (Fig. 9) Das mittlere Stadtgebiet, das die größte Niederschlagsmenge aufweist, hat auch die größte Regendichte. Es fallen dort 3,5 mm bis 3,7 mm in 10 Minuten, gegen 0,5 bis 1,9 mm in den Außenbezirken.

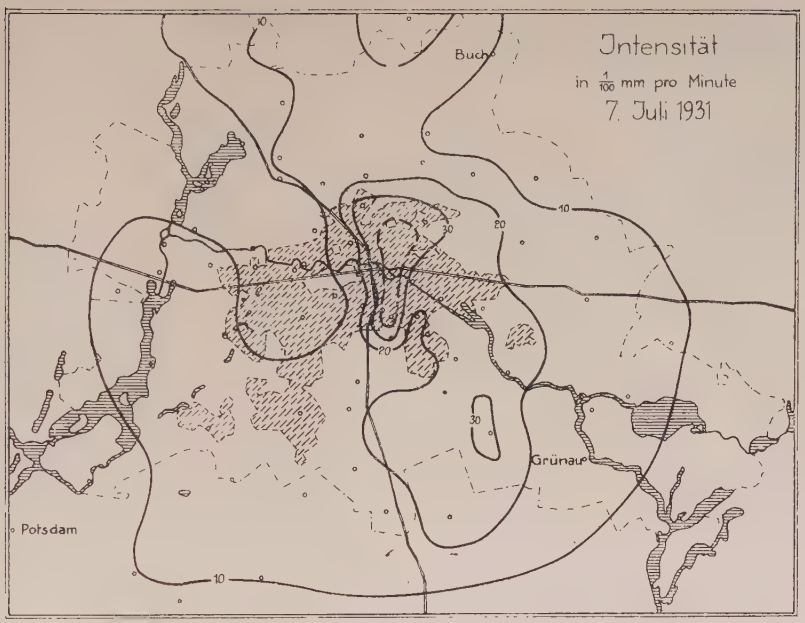


Fig. 11

Zur Klärung der Frage, welchem Faktor, der längeren Dauer oder der stärkeren Intensität, in diesem Falle in der Hauptsache die Bildung des Gebietes stärkerer Niederschläge von 10 mm und mehr, zuzuschreiben ist, wurden die Werte folgender Stationen gemittelt.

Außenstationen:	Zentralstationen:
Tegel	Met. Institut
Zehlendorf I	P. W. XI
Grünau	VII
Hellersdorf	Oberschöneweide
Buch	Wassmannsdorf

Dadurch erhält man für die entsprechenden Gebiete als mittleren Wert:

Außenstationen	Zentralstationen
$\Sigma_1 = 5{,}76$ mm	$\Sigma_2 = 18{,}3$ mm
$D_1 = 48$ Min.	$D_2 = 64$ Min.
$J_1 = 0{,}12$ mm/min	$J_2 = 0{,}28$ mm/min

Daraus folgt, daß an den Zentralstationen sowohl die Dauer größer ist, als auch die Intensität.

Den prozentualen Anteil jedes dieser Faktoren am Aufbau der größeren Regenmenge wird aus der Formel:

$$(_{(1)} = \Sigma_2 - (J_{1\,(2)} \cdot D_{2\,(1)})$$

errechnet.

Die Ableitung dieser Gleichung ist auf Seite 30 des Falles II gegeben.

Die so berechneten Werte für C und C_1 betragen dann:

$$C = 18{,}3 - (0{,}12 \cdot 64{,}2)$$
$$C = 10{,}6$$
$$C_1 = 18{,}3 - (0{,}28 \cdot 48)$$
$$C_1 = 4{,}9$$

Der Prozentanteil nach der Formel

$$P_c = \frac{C_1 \cdot 100}{C + C_1} \quad \text{u.} \quad P_{c1} = \frac{C \cdot 100}{C + C_1}$$

ergibt dann:

$$P_c = \frac{4{,}9 \cdot 100}{15{,}5} \qquad P_{c1} = \frac{10{.}6 \cdot 100}{15{,}5}$$

$$P_c = 31.6\,\% \qquad P_{c1} = 68.4\,\%$$

An der größeren Wasserproduktion der Zentralstationen ist zu überwiegendem Teile die erhöhte Intensität, und zwar mit 68,4%, beteiligt.

Der Regenbeginn.

Die Regenfront überquert die Mark Brandenburg in der Richtung Südwest nach Nordost mit einer mittleren Geschwindigkeit von 40 km/st und erreicht den westlichen Stadtrand gegen 18 Uhr.

40 Minuten später hat die Regenfront die Stadt überschritten und den Nordost-Rand erreicht.

In dieser Zeit ist eine Geschwindigkeit von 30 km/st im Mittel erreicht worden.

Die in 40 Minuten über dem gesamten Stadtgebiet zurückgelegte Strecke beträgt rund 20 km.

Mit der mittleren Zuggeschwindigkeit über Brandenburg verglichen,

mittlere Geschwindigkeit über Brandenburg: 40 km/st
mittlere Geschwindigkeit über Berlin: 30 km/st

ergibt einen mittleren Geschwindigkeitsverlust über Groß-Berlin von 10 km/st.

Betrachtet man nun die Isochronen des Regeneinsatzes genauer, so ist unschwer ein Abfall der Fortpflanzungsgeschwindigkeit festzustellen. Die Niederschlagsfront überquert das eigentliche Stadtkerngebiet mit stark abgebremster Geschwindigkeit. Fig. 12.

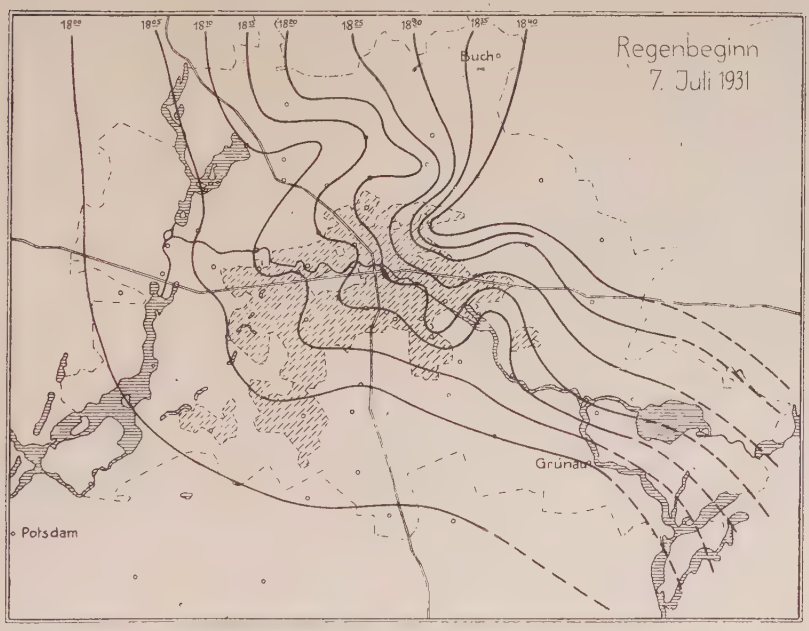


Fig. 12

Fig. 13 zeigt die Geschwindigkeitsänderung der Front.

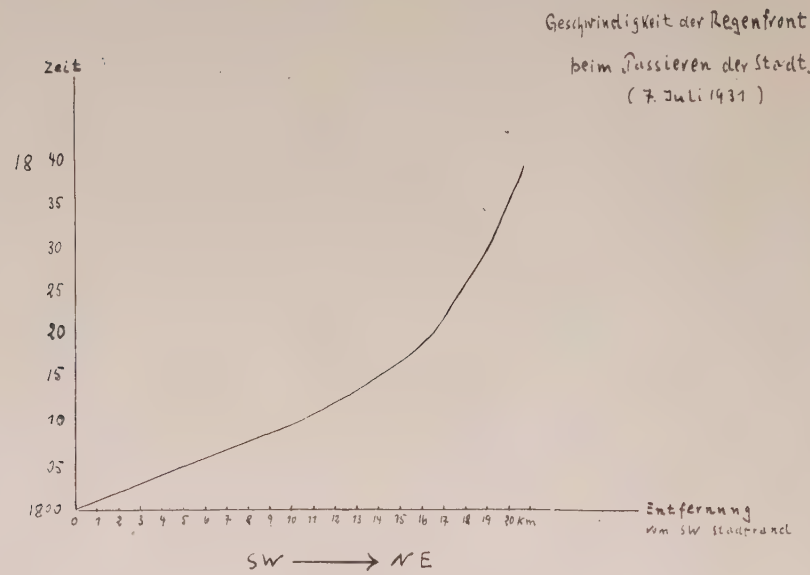


Fig. 13

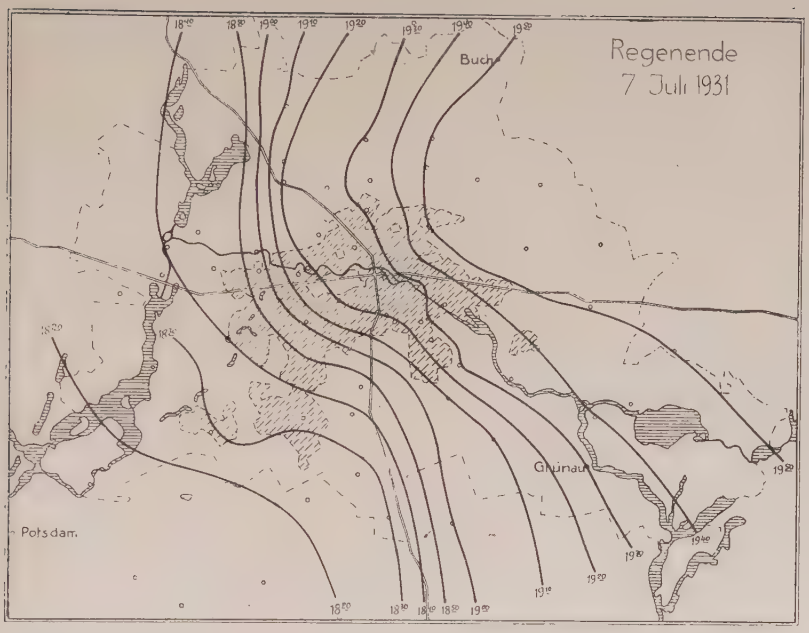
Als Abszisse wurde die Entfernung in km vom SW-Stadtrand, der sich in diesem Falle mit der 18-Uhr-Lage der Regenfront deckt und die Null-Linie darstellt, eingetragen.

Die Zeit von 18 Uhr bis 18.40, innerhalb der die Front die Stadt überquert, gilt mit der Unterteilung von 5 zu 5 Min. als Ordinate.

Aus diesem Diagramm ist nun leicht abzulesen, daß die Front am Stadtrand von 18 Uhr bis 18.10 eine mittlere Geschwindigkeit von 60 km/st. entwickelt, von 18.15 bis 18.20, also über der Stadtmitte, nur noch etwa 30 km/st, und von 18.30 bis 18.40, am Nordostrand, sogar auf 12 km/st abgebremst ist.

Das Regenende.

Fig. 14 zeigt die Isochronen des Regenendes. Man findet ein ähnliches Bild, wie es die Darstellung des Regenbeginns zeigt. Die Rückseite des Schauers wandert ebenfalls in westöstlicher Richtung über die Stadt. Bemerkenswert ist auch hier ein gewisses Zurückbleiben des mittleren Teiles der Schauerrückseite im Bereich der Stadt.



Die Zuggeschwindigkeit der Regenfront.

Vergleicht man nun die mittleren Zuggeschwindigkeiten der Schauervorderseite mit der Rückseite innerhalb des Stadtgebietes, so stellt man fest, daß die Rückseite für die Entfernung: Südwest – Nordost Rand = 20 km, 90 Minuten braucht, um sie zurückzulegen.

Für die gleiche Strecke werden von der Schauervorderseite nur etwa 40 Minuten benötigt, das ergibt eine mittlere Zuggeschwindigkeit für die

Vorderseite:	30	km/st
Rückseite:	13,3	km/st

Diese Geschwindigkeitsdifferenz ist wohl in der Hauptsache den verschiedenen Windgeschwindigkeiten zuzuschreiben, die an der Vorder- bezw. Rückseite herrschen.

Während am Böenkopf Geschwindigkeiten bis zu 17 m/sec. gemessen werden, ist die Windgeschwindigkeit am Regenende auf 3 m/sec. zurückgegangen.

Die folgende Darstellung zeigt nebeneinander die mittlere Zuggeschwindigkeit der Regenfront über freiem Gelände und über dem Stadtgebiet.

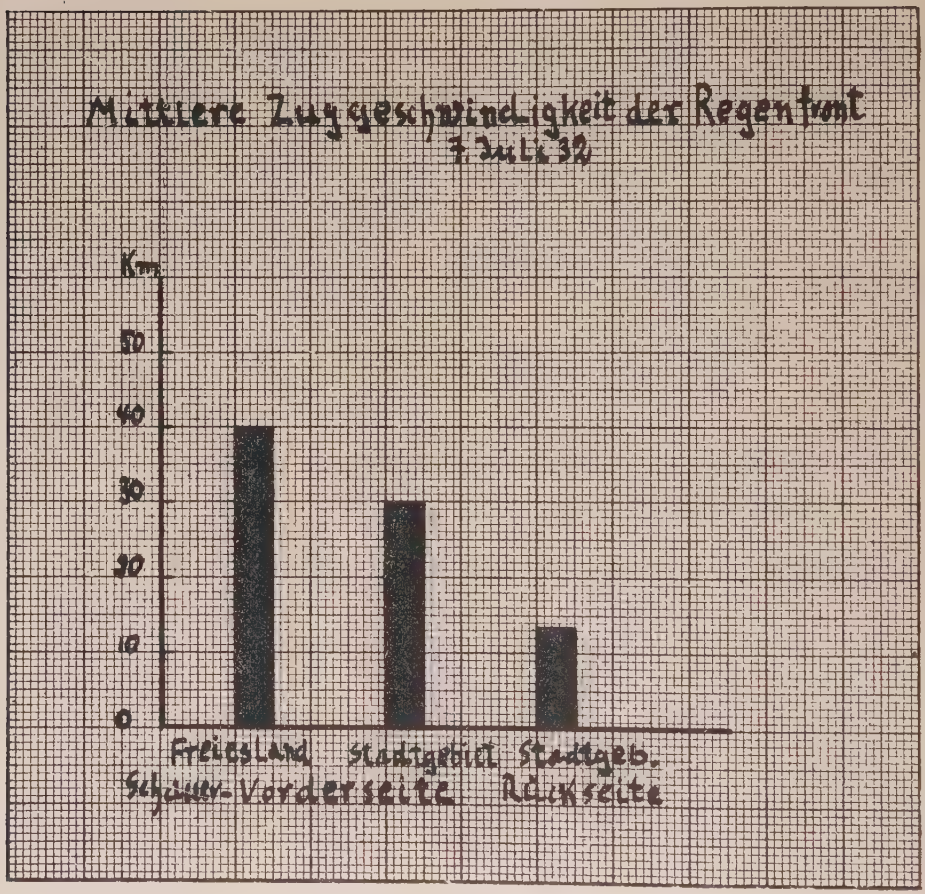


Fig. 15

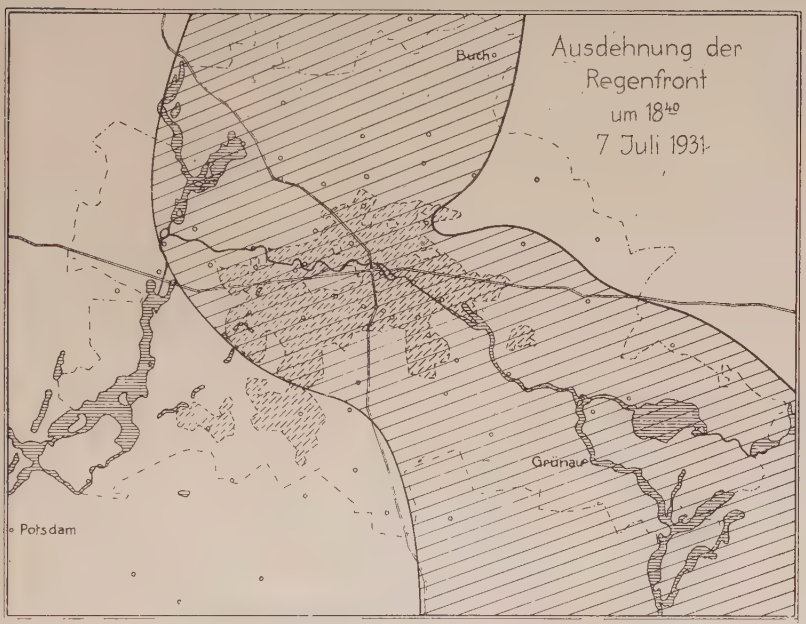


Fig. 16

Die Ausdehnung des Regengebietes.

Fig. 16 zeigt uns die Flächenausdehnung des Schauerbandes um 18.40 Uhr, einer Zeit, da am Ostrand der Stadt der Regen einsetzt, während es im Westen gerade aufhört. Die Breite des überregneten Gebietes beträgt rund 14—18 km.

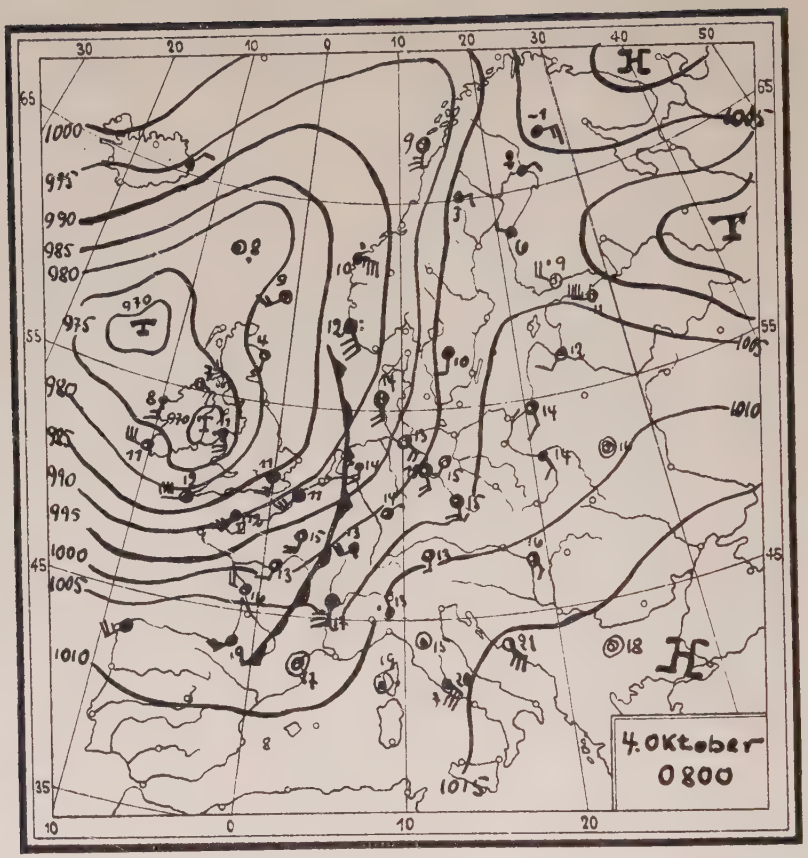


Fig. 1

Die Wetterlage am 4. Oktober 1934.

Das Wetter vom 4. Oktober steht ganz unter dem Zeichen einer umfangreichen Depression, deren Kern über den britischen Inseln liegt. Deutschland, das im Bereich des Südost-Sektors der Zyklone liegt, wird bei Winden aus südlichen Richtungen von gealterten maritim-polaren Luftmassen überströmt, in denen die Temperaturen tagsüber bis auf 23° ansteigen. Das Wetter ist wolkig, die Bewölkung besteht vorwiegend aus Stratokumulus und Altokumulus. Der an der Südostseite der Depression strömenden gealterten maritimen Polarluft folgen frischere Kaltluftmassen, deren Front am 4. Oktober früh von der mittleren Nordsee über Holland, Nordwestdeutschland sich bis Südfrankreich erstreckt, längs der Kaltluftfront herrscht rege Schauertätigkeit.

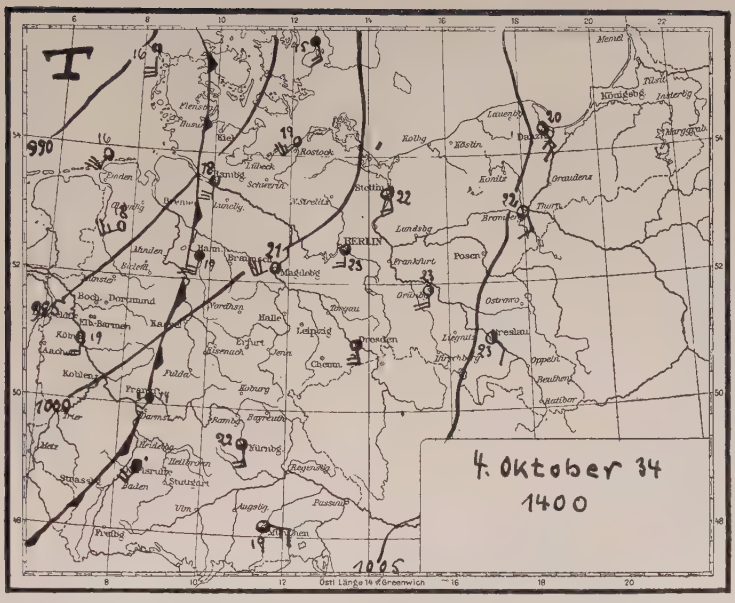

4. Oktober 34
1400
BERLIN
Östl Länge 14 v Greenwich

Fig. 2

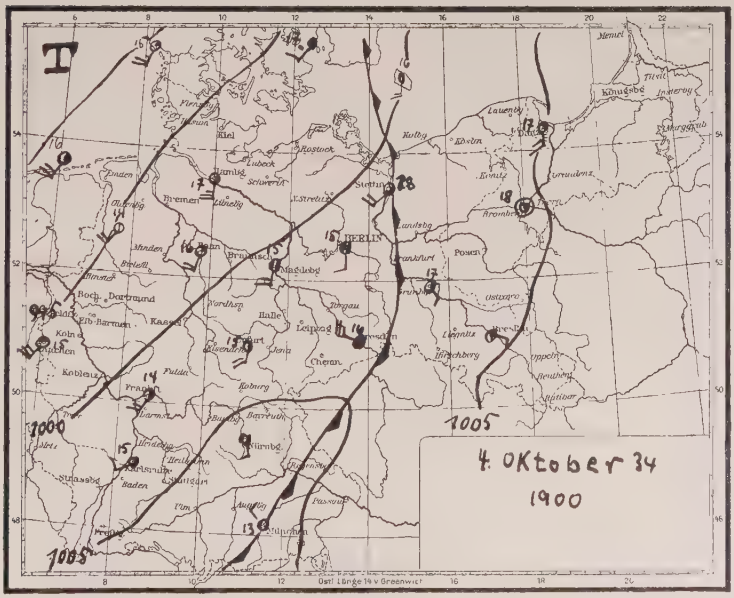

4. Oktober 34
1900
BERLIN
Östl Länge 14 v Greenwich

Fig. 3

Die Störung verlagert sich weiter ostwärts und ist um 14 Uhr etwa auf der Linie Jütland, Elbmündung, Weser, und weiter durch Südwestdeutschland zum Rhônetal, zu finden (Fig. 2).

Während östlich der Front die Temperaturen durchweg 21—23° erreichen, betragen sie im Westen meist 18 Grad.

Eine Stunde später, gegen 15 Uhr, hat die Kaltluft die mittlere Elbe erreicht. In Dessau fällt der Thermograph in der Zeit von 15.20—16 Uhr um 6,2 Grad, von 22,8 Grad auf 16,6 Grad. Zur selben Zeit beginnen die Schauerniederschläge.

Das Eindringen der kühleren Luftmassen ist allenthalben von starker Böigkeit begleitet. Magdeburg meldet Böen in maximaler Stärke von mehr als 20 m/sec.

Um 16 Uhr liegt die Regenfront bereits jenseits der Elbe, etwa bei Brandenburg a. H., und hat um 17 Uhr den Westrand von Berlin erreicht. Ihre Zuggeschwindigkeit beträgt demnach 50—55 km/st.

Um 19 Uhr ist sie bis zur Oder vorgedrungen (Fig. 3).

Aus den Registrierungen im Berliner Stadtgebiet ist nun folgendes zu ersehen:

Die Temperaturkurve zeigt ihr Maximum von 23° gegen 14.30 Uhr. Die Regenfront erreicht, wie schon erwähnt, um 17 Uhr den Westrand der Stadt, zur selben Zeit tritt der Temperaturabfall auch bei den Stationen Dahlem und Scharfenberg ein. Das Thermogramm von Dahlem zeigt einen Abfall von 20 Grad auf 14,8 Grad in 20 Min. Bei der Station Scharfenberg sinkt die Temperatur von 20,8 Grad auf 14,8 Grad, ebenfalls in 20 Minuten.

Neukölln wird von den Kaltluftmassen entsprechend später erreicht, um 17.20 Uhr bis 17.40 Uhr wird dort der Temperatursturz von 20 Grad auf 15,3 Grad registriert.

Man findet also bei allen Stationen nach dem Kaltlufteinbruch eine um 5—6 Grad niedrigere Temperatur.

Der Luftdruck, der bei unregelmäßig fallender Tendenz einen Stand von 748,3 mm am 4. Oktober 7 Uhr aufwies, fiel bis 16 Uhr, also kurz vor der Frontpassage, um weitere 3 mm, auf 745 mm. Im Augenblick des Böendurchganges zeigt das Barogramm ebenso plötzlich einen um 1 mm höheren Stand an, um von da ab langsam weiter zu steigen.

Auch das Anemogramm zeigt den üblichen Verlauf.

Nachdem tagsüber mäßige Winde aus südlichen Richtungen wehten, dreht der Wind im Augenblick des Böendurchzuges um 90 Grad, auf West, bei gleichzeitiger Steigerung der Windgeschwindigkeit von 3 m/sec. auf 16 m/sec. Auf dem Flughafen Tempelhof wird als Maximal-Geschwindigkeit der Bö fast 19 m/sec. registriert.

Infolge der gestellten Aufgabe ergab sich auch hier wieder die Notwendigkeit, den frontgebundenen Schauer aus dem vorliegenden Registriermaterial herauszuschälen.

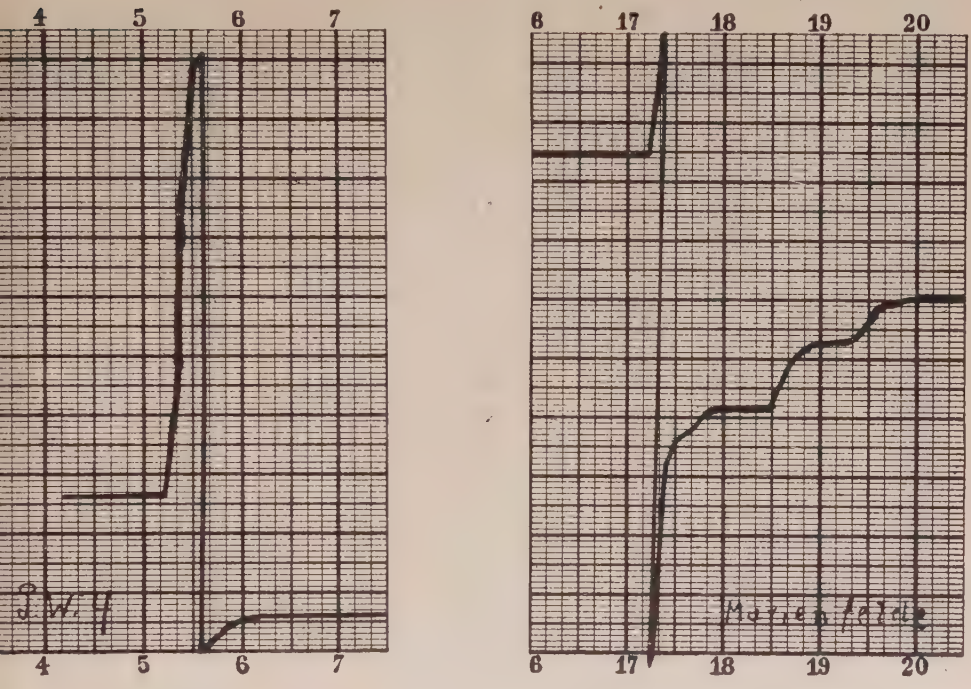


Fig. 4.

Ein Blick auf die Ombrogramme, Fig. 4, die als typische Vertreter hier dargestellt seien, zeigt, daß der in der Zeit von 17-18 Uhr niedergegangene Regen als der frontgebundene Schauer anzusehen ist, der gleichzeitig auch mit entsprechender Deutlichkeit im ganzen überregneten Gebiet auftritt. Bei den Südstationen, zu denen Marienfelde gehört, folgen diesem ersten Schauer zwischen 18 und 20 Uhr noch 2 Nachläufer, die die Kernstationen nur noch streifen, und die bei den Meßstellen im Norden der Stadt kaum noch nachzuweisen sind. Sie konnten, oder besser gesagt, mußten auch hier wieder aus bekannten Gründen unberücksichtigt bleiben.

Fig. 5 zeigt uns wieder das Bild der vorrückenden Regenfront, die mit einer mittleren Geschwindigkeit von etwa 50 km/st. unter Gewittererscheinungen und Böen die Mark Brandenburg von West nach Ost durchquert und gegen 17 Uhr am Westrand des Stadtgebietes die Niederschlagstätigkeit beginnen läßt.

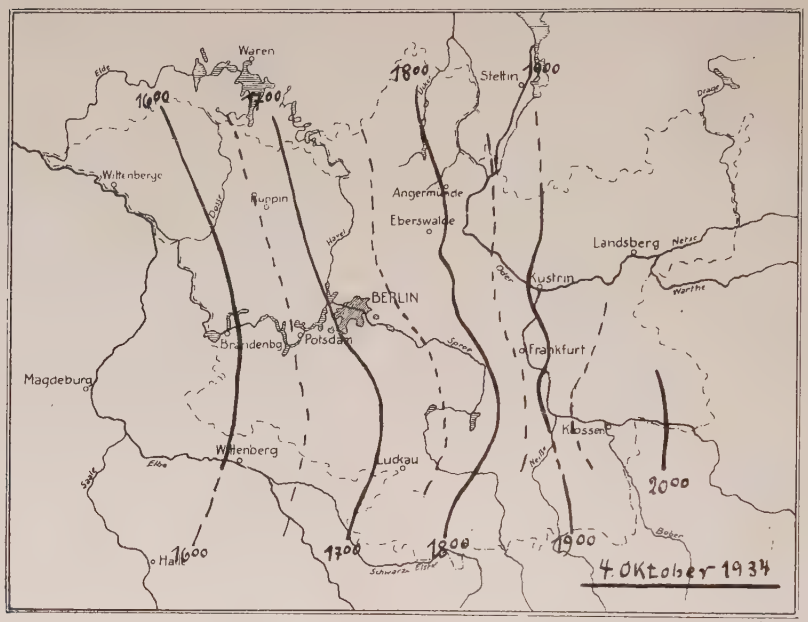


Fig. 5

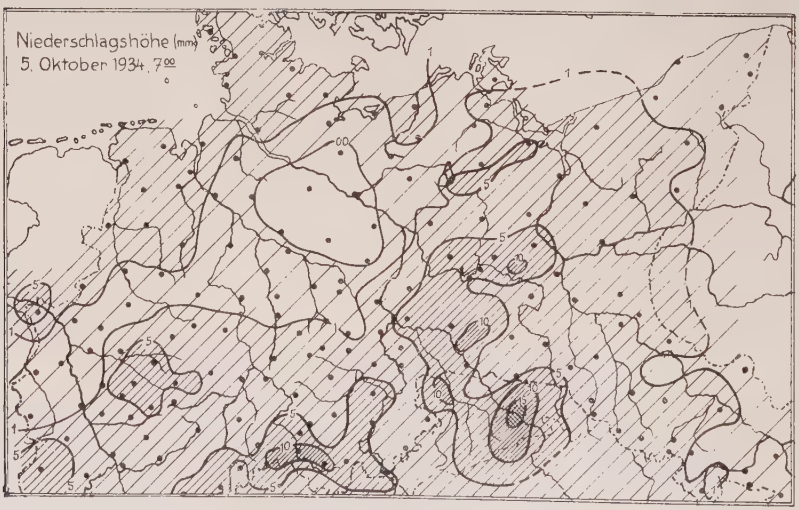


Fig. 6

Das Niederschlagsgebiet in und um Berlin gehört zum nördlichen Teilstück einer langgestreckten Zone verhältnismäßig ergiebigerer Niederschläge von 5 mm und mehr. Diese Zone, Fig. 6, reicht vom Erzgebirge zur mittleren Mark Brandenburg, wird im Westen etwa von der Mulde begrenzt und im Osten von der Spree.

Solche Inseln stärkerer Niederschläge, wechselnder Ausdehnung und unregelmäßiger Lage, treten im überregneten Gebiet des nördlichen Deutschlands mehrmals auf. Sie fallen im allgemeinen mit den Gebieten zusammen, in denen am 4. Oktober Gewitter gemeldet wurden.

Ein niederschlagsfreies Gebiet in dem auch die Gewittertätigkeit gering war, liegt am unteren Lauf der Elbe beiderseits des Stromes.

Die Regenmenge.

Was nun die mengenmäßige Verteilung des Niederschlages in und um Berlin betrifft, so findet man rein äußerlich ein ähnliches Bild wie bei Fall 1, nämlich die Längserstreckung des stärker überregneten Gebietes, quer zur Zugrichtung der Regenfront, und einem, wenn auch hier nicht absolutem, Niederschlagsmaximum von 8 mm über der mittleren Stadt (Fig. 7).

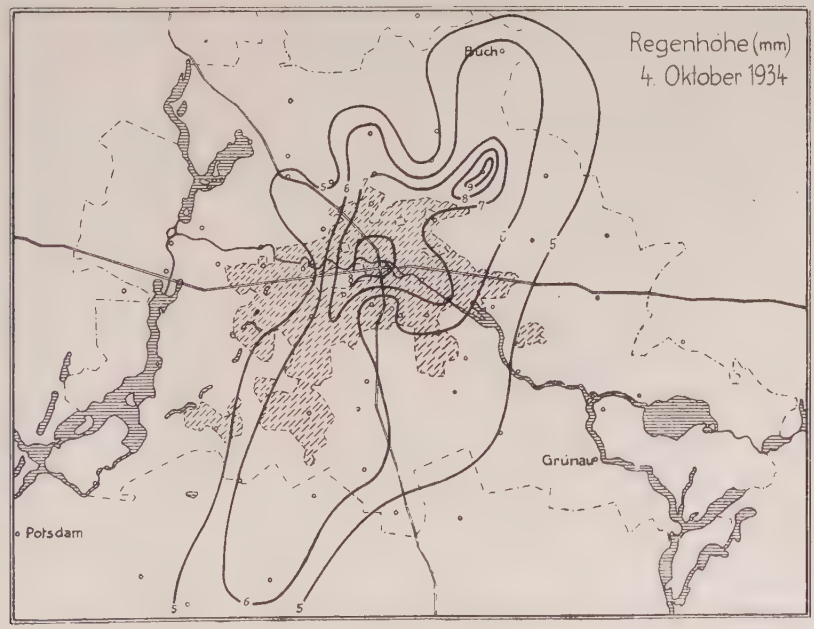


Fig. 7

Eine um 1,1 mm größere Regenmenge wurde im Nordosten, in Malchow, gemessen. Im allgemeinen ist jedoch zu beobachten, daß die Niederschlagsmengendifferenzen innerhalb der 5-mm-Zone nicht allzu erheblich sind. Eine Tatsache, die verständlich ist, wenn es sich, wie in unserem Fall, um einen frontgebundenen Schauer handelt.

Die Regendauer.

In Fig. 8 ist die Gesamtdauer des Regens dargestellt.

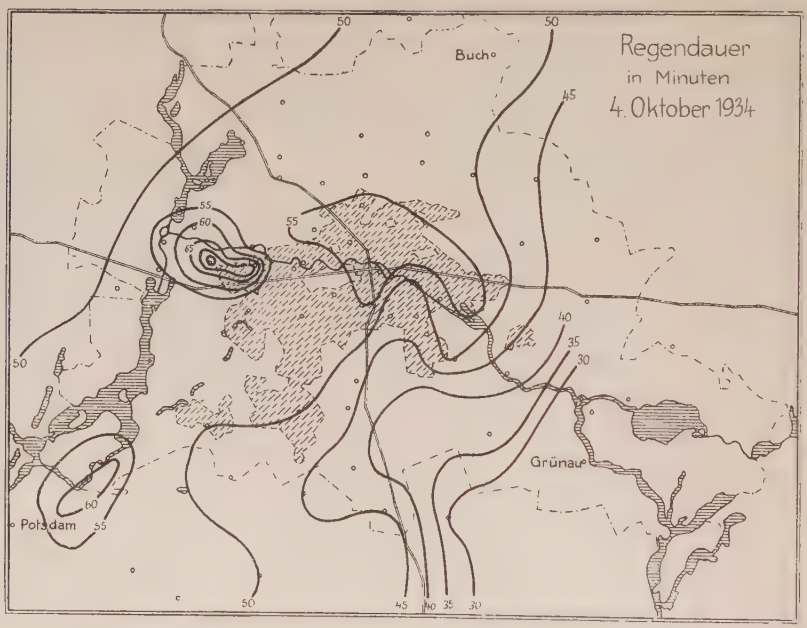


Fig. 8

Im Ganzen betrachtet, und von den Charlottenburger Stationen abgesehen, findet man für den in Frage kommenden Bereich keine erheblichen Zeitdifferenzen, jedenfalls nicht solche, aus denen man ohne weiteres schließen könnte, daß die größere Ergiebigkeit durch längere Regendauer hervorgerufen würde.

Die erheblich größere Niederschlagsdauer von 70—80 Minuten im Westen, gegen 50—60 Minuten im übrigen Gebiet, wird durch die beiden Stationen Charlottenburg I und II hervorgerufen. Die Regenmenge beträgt bei

Charl. I 1,4 mm
Charl. II 1,7 mm

dagegen ist die Regendauer verhältnismäßig groß, sodaß hier der gefallene Niederschlag eigentlich nicht mehr als Schauer bezeichnet werden kann.

Bedeutungsvoller erscheint dagegen schon das über der Stadt zu findende Gebiet längerer Dauer das zwar mit der Zeitdifferenz von + 7 Minuten nicht erheblich erscheint, aber im Hinblick auf das im gleichen Raume liegende Niederschlagsmaximum nicht ganz außer Acht gelassen werden darf.

Die Regendichte (Fig. 9).

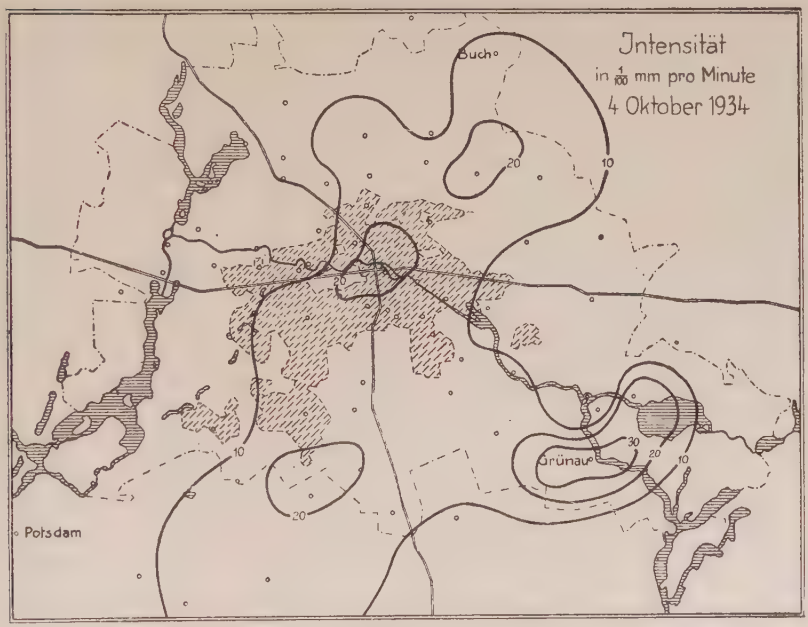


Fig. 9

Die Darstellung der Intensität des Niederschlages zeigt auch in diesem Falle wieder die annähernde Uebereinstimmung mit der Karte der Regenmenge.

Den drei Intensitätsmaxima im Zuge der Hauptachse der Regenzone, entsprechen die drei Niederschlagsmaxima. Das absolute Dichtemaximum liegt bei Grünau, im Südosten der Stadt. Es fallen dort in 10 Minuten 2,4 mm, gegen 1,5 mm in der mittleren Stadt. Die Gesamtsumme des Niederschlages ergibt jedoch für Grünau nur 2,7 mm.

Bei der Betrachtung der einzelnen Summenmaxima erhebt sich die Frage, wodurch die Unterschiede der Niederschlagsmengen hervorgerufen werden; gibt die Dauer den Ausschlag, oder hat die Intensität den größeren Anteil an der Produktion größerer Wassermengen. Die Frage kann leicht geklärt werden, wenn von zwei Vergleichsstationen die Dauer des Regens an der Station mit größerer Regenmenge einen gleich großen, oder kleineren Wert ergibt. In diesem Falle ist die Regendichte von ausschlaggebender Bedeutung für die größere Niederschlagssumme. Umgekehrt gilt natürlich das gleiche. Ist aber die Dauer und die Intensität größer, so ist die Antwort nicht so ohne weiteres durch bloßes Vergleichen der Zahlen zu finden. Ganz abgesehen davon, daß man auch im ersten Falle nur qualitative Werte bekäme.

Man könnte beispielsweise fragen, wodurch kommt die Niederschlagserhöhung zwischen Osdorf, $Summe_1 = 7{,}1$ mm, und Malchow, $Summe_2 = 9{,}1$ mm, zustande.

Durch längere Dauer, oder größere Intensität?

Beide Faktoren wirken natürlich mit, welchem von ihnen jeweils größere Bedeutung zukommt, soll versucht werden im Folgenden zu lösen.

Beispiel:

Station:	Osdorf	Malchow
	$\Sigma_1 = 7{,}1$ mm	$\Sigma_2 = 9{,}1$ mm
	$D_1 = 45$ Min.	$D_2 = 50$ Min.
	$J_1 = 0{,}16$ mm	$J_2 = 0{,}18$ mm

Es bedeutet:

Σ = Regenmenge in Millimeter
D = Regendauer in Minuten
J = Regendichte in Millimeter pro Minute

Nun ist:

$$J \quad \frac{\Sigma}{D}$$

$$\Sigma = J \cdot D$$

Es sei zunächst der Einfluß der Regendauer D_2 auf die Wasserproduktion untersucht.

Erste Annahme: $J_2 = J_1$

Dann ist: $\Sigma_2 = (J_1 \cdot D_2) + C$

C ist der Faktor, der hinzugefügt werden muß, um die Gleichung zu erfüllen.

Dann ist: $$C = \Sigma_2 - (J_1 \cdot D_2) \quad \text{I}$$

Nun sei der Einfluß der Regenintensität in gleicher Weise betrachtet.

Zweite Annahme:

$$D_2 = D_1$$

Dann ist: $$\Sigma_2 = (J_2 \cdot D_1) + C_1$$

$$C_1 = \Sigma_2 - (J_2 \cdot D_1) \quad \text{II}$$

Das prozentuale Verhältnis von C und C_1 gibt dann folgende Gleichung:

$$P_c = \frac{C_1 \cdot 100}{C + C_1}$$

Und: $$P_{c1} = \frac{C \cdot 100}{C + C_1} \quad \text{III}$$

Die Rechnung wurde unter der Annahme durchgeführt, daß das gleiche prozentuale Verhältnis, in dem Dichte und Dauer zueinander stehen, wenn jedes für sich allein den Gesamtwert 2 erreicht, auch dann besteht, wenn beide gemeinsam an der Bildung dieses Wertes beteiligt sind. Mit Hilfe obiger Gleichungen erhält man nun folgende Werte:

$C = 1{,}1$; $C_1 = 1{,}0$

$P_c = 47{,}6\,\%$; $P_{c1} = 52{,}4\,\%$

d. h. also:

An der Regensummerhöhung in Malchow ist zum größeren Teil die verstärkte Intensität, mit 52,4%, beteiligt.

Um nun den Anteil von Dauer und Dichte im gesamten Gebiet zu klären, wurde mit Hilfe der Mittelbildung aus sechs Stationen im Bereich der Niederschläge von 7 und mehr Millimeter, und 6 Stationen außerhalb dieser Zone, zwei mittlere Werte für Summe, Dauer und Dichte errechnet.

Es sind von den

Außenstationen:	Zentralstationen:
Tegel	P. W. IV
Wittenau	V
Zehlendorf I	VII
Lichtenrade	X
Falkenberg	Malchow
Rudow	Niederschönhausen

die zugehörigen Werte addiert und gemittelt worden. So erhält man für die Außenstationen

als mittleren Wert:	für die Zentralstationen:
$\Sigma_1 = 4{,}2$ mm	$\Sigma_2 = 7.7$ mm
$D_1 = 48$ Min.	$D_2 = 51$ Min.
$J_1 = 0.09$ mm mi	$J_2 = 0.15$ mm/mi

Man bemerkt, daß die höhere Regenmenge auch hier durch längere Dauer sowie stärkerer Intensität bedingt ist. Die Rechnung ergibt dann folgendes:

Zunächst sei wieder in bekannter Weise der Daueranteil festgestellt.

Also:

$$C = \Sigma_2 - (J_1 \cdot D_2)$$
$$= 7.7 - (0.09 \cdot 53)$$
$$C = 2.94$$

der Dichteanteil ergibt:

$$C_1 = \Sigma_2 - (J_2 \cdot D_1)$$
$$= 7.7 - (0.15 \cdot 48)$$
$$C_1 = 0.5$$

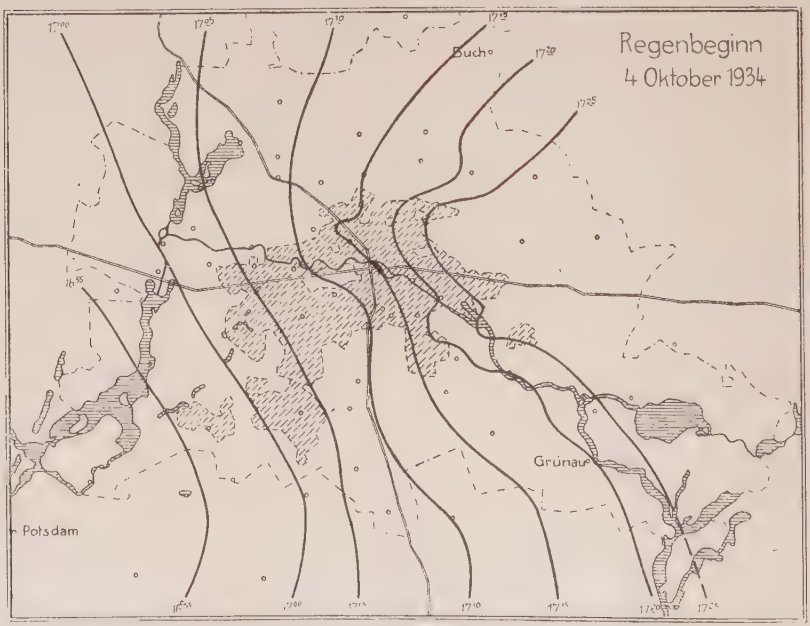
In Prozenten ausgedrückt:

$$P_c = \frac{C_1 \cdot 100}{C + C_1}$$
$$= \frac{0.5 \cdot 100}{3.44}$$
$$P_c = 14{,}6\,\%$$

$$P_{c1} = \frac{C \cdot 100}{C + C_1}$$
$$= \frac{2.94 \cdot 100}{3.44}$$
$$P_{c1} = 85{,}4\,\%$$

d. h.

An der Bildung des Niederschlagsmaximums von 7 mm und mehr, ist die Intensität mit 85,4%, und die Dauer mit 14,6% beteiligt.



Der Regenbeginn.

Die Regenfront rückt also, wie schon erwähnt, mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 50 km/st. von West nach Ost vor, und erreicht um 17 Uhr den westlichen Stadtrand, etwa die Linie Spandau—Zehlendorf. 25 Minuten später hat die Böenlinie den Ostrand der Stadt erreicht. In diesen 25 Minuten sind 14,5 km zurückgelegt worden. Das würde einer mittleren Geschwindigkeit von 34,8 km/st. entsprechen. Also

mittlere Geschwindigkeit über Brandenburg:	48,0 km
mittlere Geschwindigkeit über Berlin	34,8 km

Der Geschwindigkeitsverlust über der Stadt beträgt also gegenüber der Zuggeschwindigkeit über freiem Land immerhin 13,2 km/st.

Nicht die mittlere Geschwindigkeit, sondern das Vorrücken des frontgebundenen Schauers innerhalb der 25 Minuten von 5 zu 5 Min., zeigt uns in bekannter Darstellung Fig. 11.

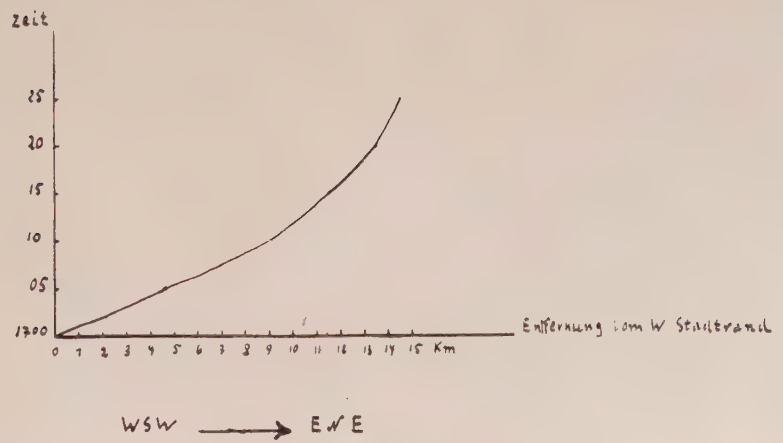


Fig. 11

Während in den ersten 5 Minuten rund 4,5 km zurückgelegt werden, sind es zwischen 17.10 und 17.15 Uhr nur noch 2,3 km, und am entgegengesetzten Stadtrand, im Osten, von 17.20 bis 17.25 nur mehr 1 km in 5 Minuten.

Die Anfangsgeschwindigkeit von rund 50 km/st. wird also bis auf 12 km pro Stunde herabgedrückt.

Das Regenende.

Die Darstellung der Isochronen des Regenendes gibt in ähnlicher Weise wie der Regenanfang das Bild der sich von West nach Ost verlagernden Niederschlagsfront (Fig. 12).

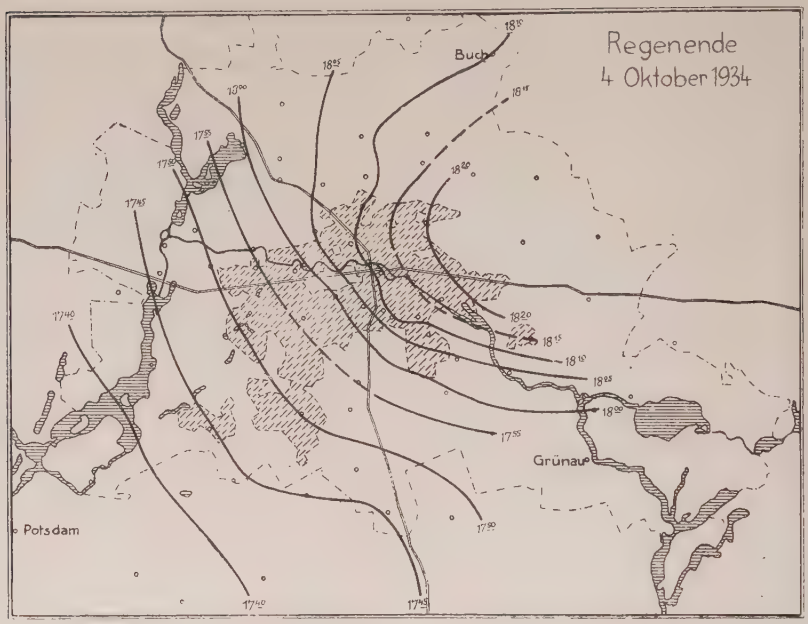


Fig. 12

Die Zuggeschwindigkeit der Regenfront.

Vergleicht man nun die mittleren Zuggeschwindigkeiten der Schauervorderseite mit der Rückseite innerhalb des Stadtgebietes, so stellt man fest, daß die Rückseite 35 Minuten braucht, um vom Westrand bis zum Ostrand zu gelangen, während, wie schon festgestellt, die Vorderseite die gleiche Strecke in 25 Minuten zurücklegt.

Die mittlere Zuggeschwindigkeit beider Seiten ergibt also folgendes:

Vorderseite:	34,8 km/st
Rückseite:	24,8 km/st

Bemerkenswert ist auch in diesem Fall die anscheinend vorhandene Deformation der Regenschlußisochrone, die deutlich das Zurückbleiben ihres mittleren Teiles über dem eigentlichen Stadtkerngebiet zeigt.

Fig. 13 gibt eine Gesamtdarstellung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schauerfront über den verschiedenen Gebieten.

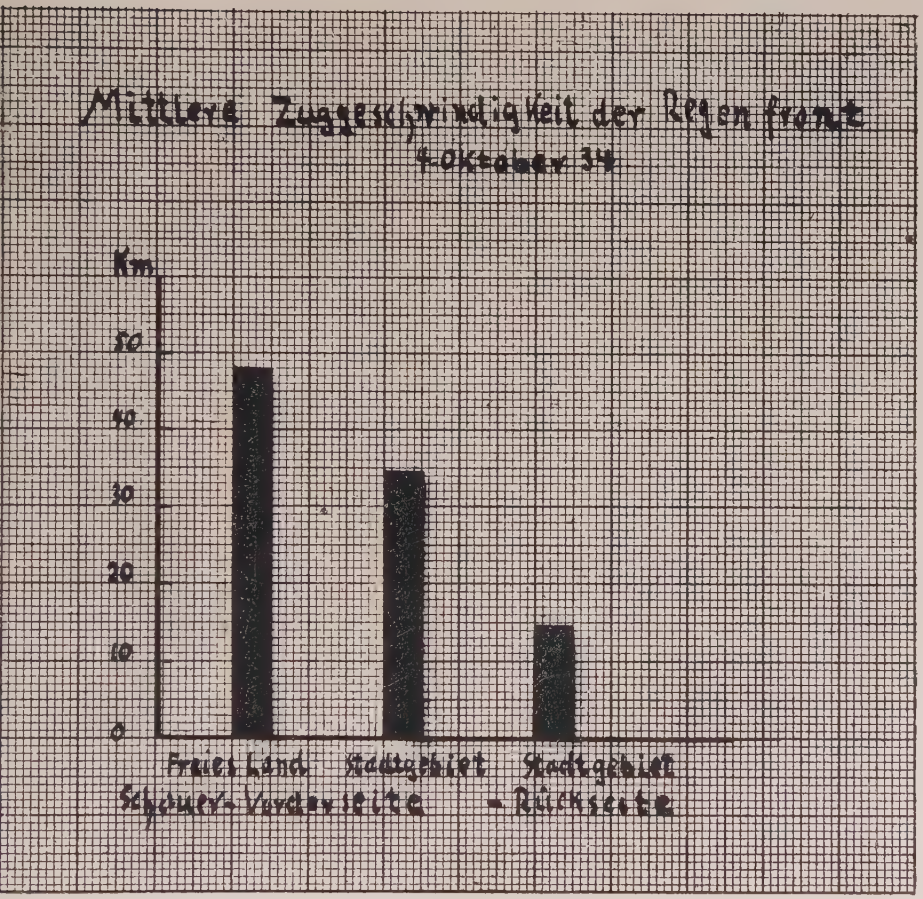


Fig. 13

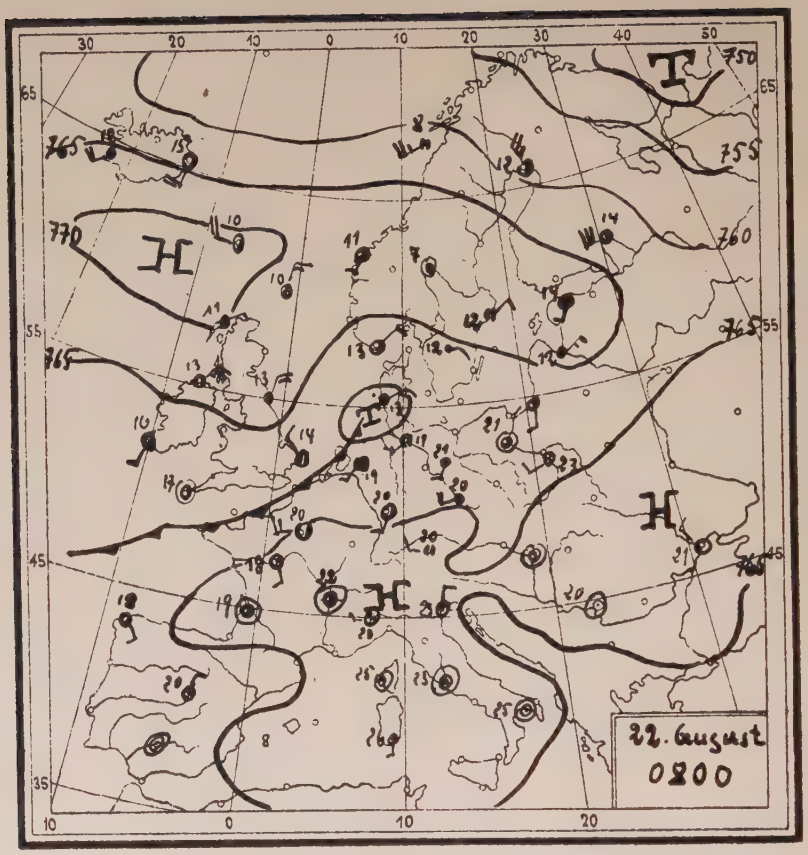


Fig. 1

Die Wetterlage am 22. August 1932.

Die Wetterlage am *22.* August wird charakterisiert durch zwei Gebiete hohen Druckes, die sich über Nord- und Südeuropa befinden, und einer sich zwischen ihnen hinziehenden Tiefdruckfurche, die das Wetter in Deutschland bestimmt.

Ueber der deutschen Bucht liegt ein Tiefdruckkern, der auf seiner Rückseite kühlere maritim-polare Luftmassen heranführt, deren Front um 8 Uhr von der deutschen Nordseeküste durch den Kanal hin verläuft.

Die Bewölkung, die vorwiegend aus Fraktostratus, Stratus und Altostratus besteht, bedeckt den Himmel zu 5—10 Zehntel. Der Wind weht mit mäßiger Stärke meist aus südwestlicher Richtung, die Temperaturen liegen um 8 Uhr durchschnittlich bei 20 Grad.

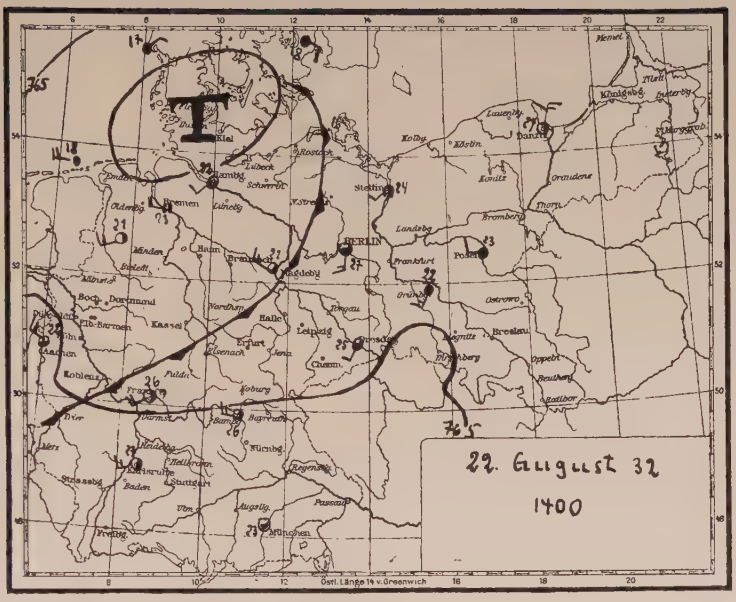

I
22. August 32
1400
Ost. Länge 14 v. Greenwich

Fig. 2

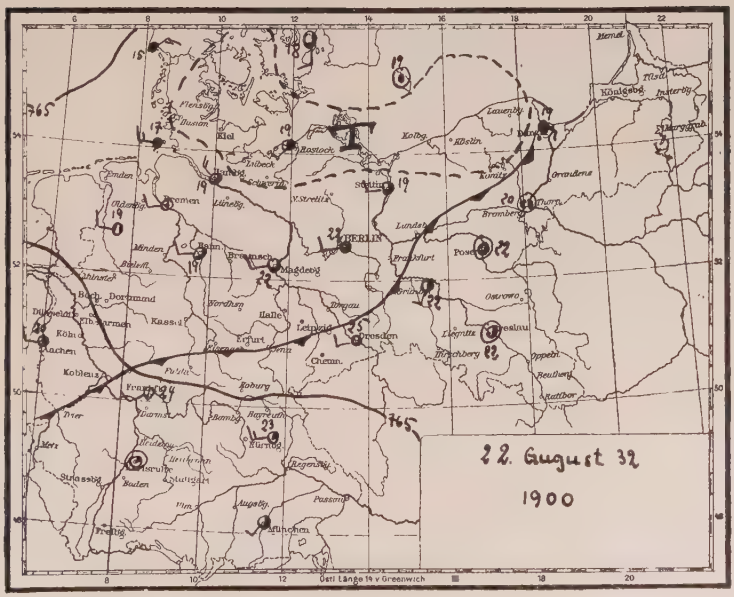

I
22. August 32
1900
Ost. Länge 14 v. Greenwich

Fig. 3

Der Tiefdruckkern verlagert sich weiter ostwärts und an seiner Westseite schwenken die Kaltluftmassen herum. Allenthalben kommt es zu Gewittern und Schauerniederschlägen.

Schmatzfeld, am Nordrand des Harzes, wird von der Kaltfront gegen 11.50 Uhr erreicht. Das Thermogramm zeigt um diese Zeit sein Tagesmaximum mit 26,5 Grad an. Innerhalb von 15 Minuten sinkt die Temperatur um 7 Grad, auf 19,5 Grad. Um 14 Uhr, siehe Karte, ist die Kaltfront weiter ostwärts vorgedrungen und hat die untere Hälfte der Elbe, etwa bis Magdeburg, überströmt.

Von Gewitter und Regenböen begleitet, schreitet die Kaltluft über die Mark Brandenburg fort, ist um 15.30 längs der Havelseen vor Berlin zu finden und liegt um 19 Uhr schon jenseits der Oder, ihre Zuggeschwindigkeit beträgt im Mittel 45,0 km/st.

Bei den Berliner Registrierstationen macht sich der Böendurchzug in folgender Weise bemerkbar:

Das Barometer, das am 22. um 7 Uhr einen Stand von 757,8 mm aufwies, steht bei unregelmäßig fallender Tendenz um 14 Uhr auf 757,3 mm.

Im Augenblick der Frontpassage, um 15.40 Uhr, steigt die Druckkurve plötzlich um 0,8 mm, um dann langsamer und zunächst erst noch unregelmäßig weiter zu steigen. Der Wind, der mit einer Geschwindigkeit von 3 m/sec. aus südlichen Richtungen wehte, dreht beim Durchzug der Bö auf WNW und erfährt eine Geschwindigkeitssteigerung bis 15 m/sec.

Der Temperaturverlauf zeigt das übliche Schema eines Kaltlufteinbruches.

Das Tagesmaximum von 27 Grad wird gegen 15 Uhr erreicht. Der Temperaturabfall im Verlauf des Kaltlufteinbruchs beträgt innerhalb von 15 Minuten 6 Grad.

Im Gegensatz zu den beiden vorauf besprochenen Fällen, bei denen sich dem frontgebundenen Schauer noch stärkere Schauer oder schwächere Nachläufer anschlossen, die aber nicht unmittelbar der Hauptregenfront zugeordnet waren, und daher vernachlässigt wurden, haben wir es hier mit einem einzigen Regenguß zu tun, der ebenso plötzlich wieder aufhört, wie er begonnen hat. Irgend ein Nachläufer, oder auch nur die Andeutung desselben, tritt bei keiner Station auf. Fig. 4 bringt die Kurve des Ombrographen vom meteorologischen Institut (Schinkelplatz) zur Darstellung.

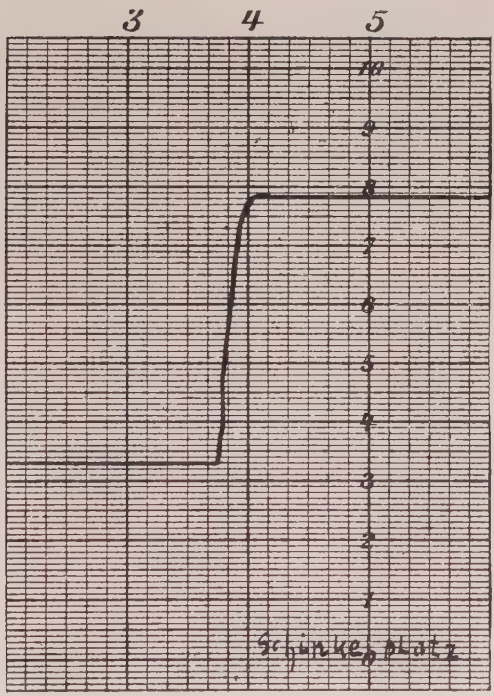


Fig. 4

Fig. 5 zeigt uns wieder das bekannte Bild der sich von W nach O verlagernden Regenböenfront.

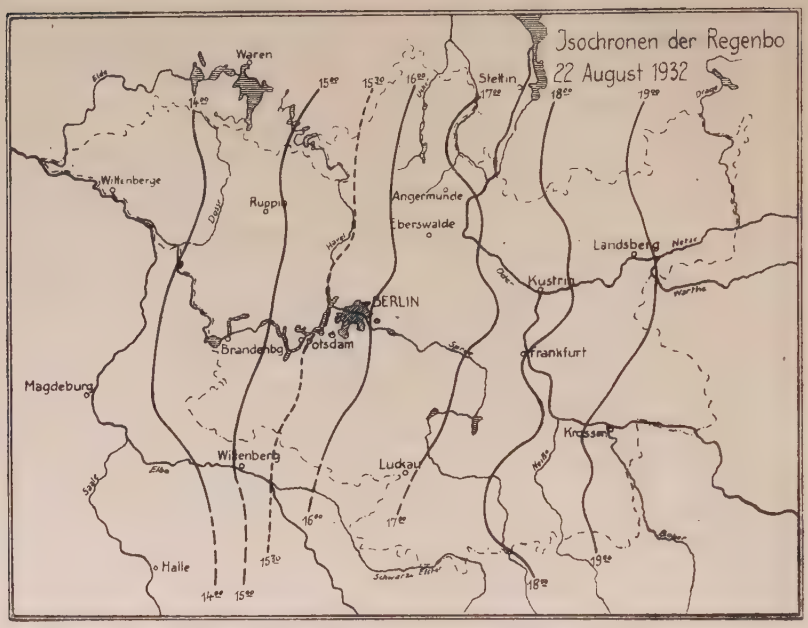


Fig. 5

Um 15.30 hat sie den Westrand Großberlins erreicht. Sie liegt an den Havelseen und nach Norden folgt sie fast genau der Havel. Eine Stunde später hat sie bereits die Stadt überquert und ist schon jenseits des Müggelsees zu finden.

Die Niederschlagsmenge.

Bei der Betrachtung der Niederschlagsmenge interessiert zunächst die Regenverteilung in Norddeutschland. Geregnet hat es überall mehr oder minder stark. Fig. 6.

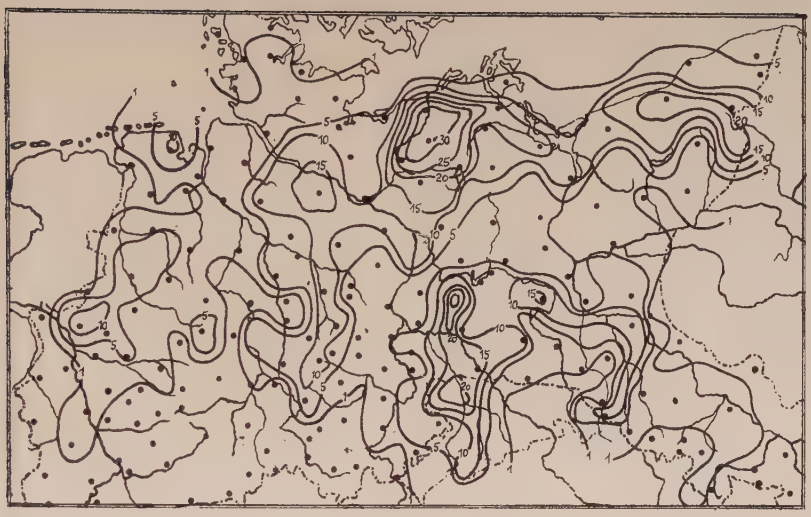


Fig. 6

Das Niederschlagsgebiet von Berlin nimmt in diesem Falle rein mengenmäßig eine ziemlich unbedeutende Stellung ein. Im Süden der Mark sind die Niederschläge stärker, während sie fast im ganzen nördlichen Brandenburg unter 5 mm geblieben sind, um noch weiter nördlich, in Mecklenburg, wieder zuzunehmen und 20 mm und mehr zu erreichen.

Diese Niederschlagsverteilung im Großen, findet sich nun bei der Betrachtung des eigentlichen Berliner Gebietes im Kleinen wieder. Fig. 7.

Südlich der Stadt liegt das Maximum mit 15—17 mm, über dem Stadtkern fielen 3—5 mm, und nördlich von Berlin sind es wieder 7—10 mm Niederschlag.

Das Niederschlagsminimum liegt also hier im Gegensatz zu den beiden ersten Fällen gerade über der Stadt.

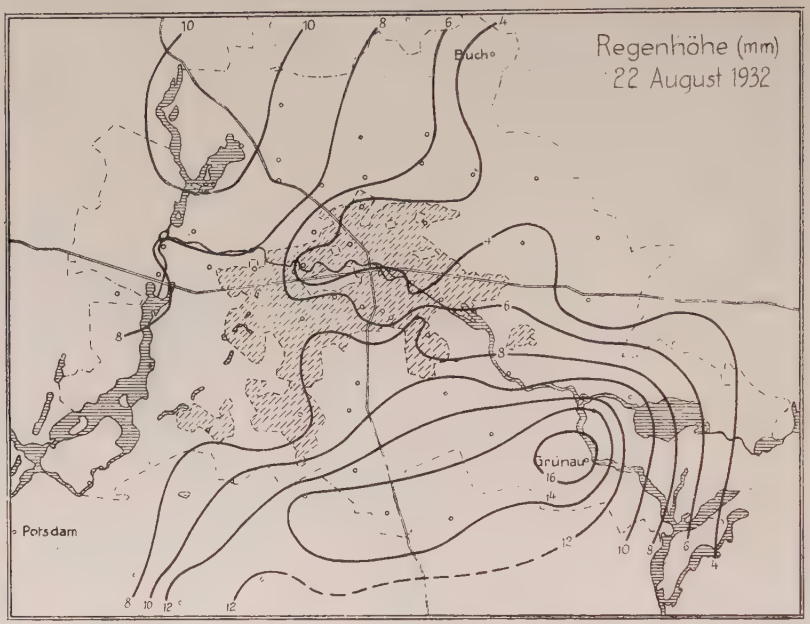


Fig. 7

Die Regendauer.

Schon ein Blick auf Fig. 8, der Darstellung der Regendauer, gibt uns anscheinend einen Hinweis, worauf wohl diese Niederschlagsverteilung zurückzuführen wäre. Man findet zwei Maxima größerer Regendauer, das eine liegt südöstlich der Stadt, das andere im Nordwesten. Während der Niederschlag im Süden 40—50 Min. dauert, regnet es über dem Stadtkern 25—30 Minuten, und nordwestlich von Berlin findet man wieder 40—45 Minuten Regendauer.

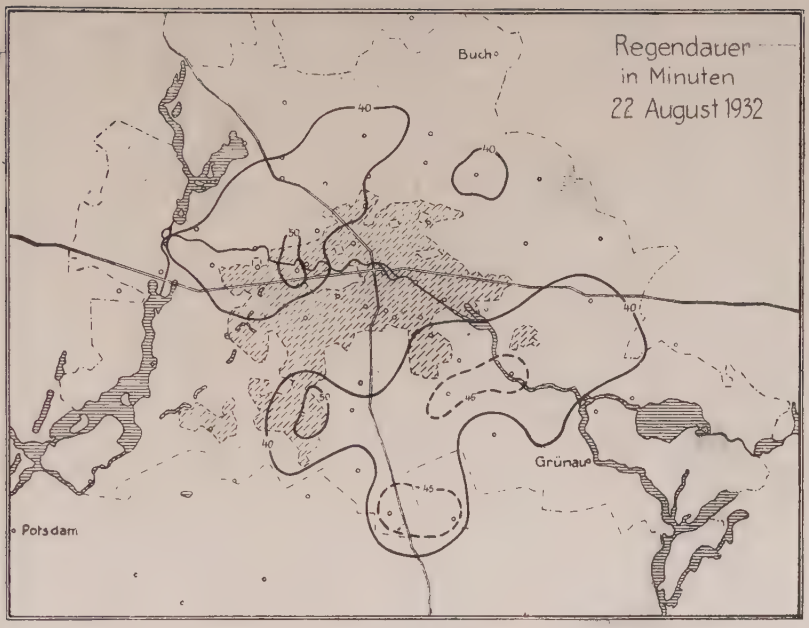


Fig. 8

Diese zwei Dauermaxima fallen im großen ganzen mit den Summenmaxima zusammen und man könnte daraus leicht den Schluß ziehen, daß die längere Dauer an der Bildung stärkerer Niederschläge nördlich und südlich der Stadt wesentlich beteiligt sei. Bei manchen Stationen, z. B. Rosenthal, trifft diese Annahme auch zu, die Mengenerhöhung der Regensumme ist hier zu Hundert Prozent der längeren Dauer zuzuschreiben, wie eine Zusammenstellung zeigt:

Met. Inst.	Rosenthal
$\Sigma_1 = 4{,}6$ mm	$\Sigma_2 = 7{,}1$ mm
$D_1 = 26$ Minuten	$D_2 = 45$ Minuten
$J_1 = 0{,}18$ mm/min	$J_2 = 0{,}16$ mm/min

Die Intensität ist schwächer geworden, sie ist also an der größeren Niederschlagsmengenbildung unbeteiligt, zugenommen hat allein die Dauer.

Die Regendichte.

In Fig. 9 ist die Verteilung der Regendichte dargestellt.

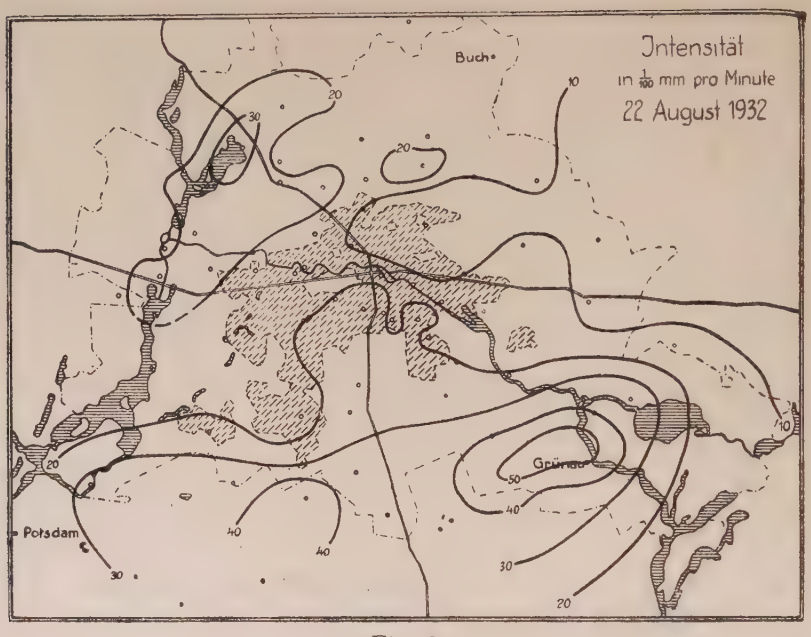


Fig. 9

Im Ganzen genommen, findet man wieder eine gewisse Aehnlichkeit mit der Darstellung der Regenmengenverteilung. Während im Süden von Berlin, wo das Dichtemaximum liegt, in 10 Minuten 4—5 mm Niederschlag fallen, sind es im Norden der Stadt 2—3 mm Niederschlag, über der mittleren Stadt regnet es in 10 Minuten 1—2 mm. Den Hauptanteil an der Niederschlagsverteilung in diesem Falle hat augenscheinlich die unterschiedliche Dichte. Die Aehnlichkeit der Dichtedarstellung mit dem Bild der Summenverteilung würde diese Annahme noch stützen. Daß man bei einzelnen Stationen in dieser Hinsicht auch ein anderes Ergebnis finden kann, zeigte unsere erste Gegenüberstellung auf Seite 43.

Den prozentualen Anteil von Dichte und Dauer insgesamt soll wieder die Rechnung klären.

In bekannter Weise wurden wieder die Summen-, Dichte- und Dauerwerte folgender Stationen gemittelt:

Zentralstationen	Außenstationen
Met. Inst.	Tegel
P. W. II	Spandau II
IV	Reinickendorf II
XI	Grünau
XII	Marienfelde
Hohenschönhausen	Britz

So erhielt man für die:

Zentralstationen	Außenstationen
$\Sigma_1 = 4.5$ mm	$\Sigma_2 = 11.6$ mm
$D_1 = 32{,}0$ Min.	$D_2 = 38{,}3$ Min.
$J_1 = 0{,}15$ mm/min.	$J_2 = 0{,}32$ mm/min.

Hieraus ersieht man, daß wieder Dichte und Dauer bei den Außenstationen größere Werte aufweisen.

Der prozentuale Anteil jedes dieser Faktoren am Aufbau der größeren Regenmenge wird aus der bekannten Formel:

$$C_{(1)} = \Sigma_2 - (J_{1(2)} \cdot D_{2(1)})$$

errechnet.

Die so erhaltenen Werte für C und C_1 ergeben dann:

$$C = 5{,}9$$
$$C_1 = 1{,}4$$

Der Prozentanteil nach der Formel

$$P_c = \frac{C_1 \cdot 100}{C + C_1}$$

u. $$P_{c1} = \frac{C \cdot 100}{C + C_1}$$

ergibt dann:

$$P_c = \frac{1.4 \cdot 100}{7{,}3} \qquad P_{c1} = \frac{5.9 \cdot 100}{7{,}3}$$

$P_c = 19.2\,\%$ $P_{c1} = 80.8\,\%$

Die Regensummenmaxima nördlich und südlich der Stadt werden auch hier zum überwiegenden Teile durch die stärkere Intensität hervorgerufen, sie ist mit 80,8% beteiligt, während der Daueranteil entsprechend 19,2% beträgt.

Der Regenbeginn.

Die Regenfront, die mit einer mittleren Geschwindigkeit von 45 km/st vorrückte, hat um 15.30 Uhr die Havellinie erreicht,

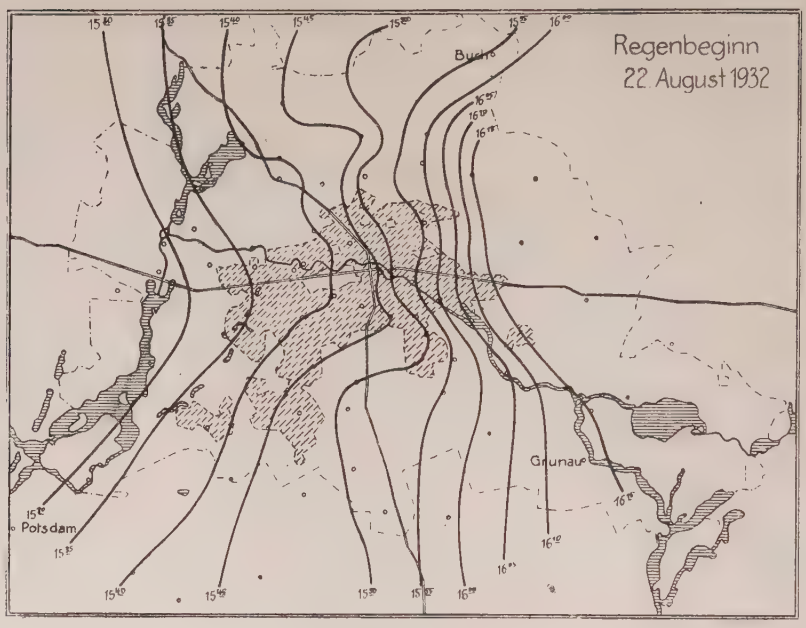


Fig. 10

überschreitet die Stadt in 40 Minuten, und legt in dieser Zeit eine Strecke von 18 km (bis Lichtenberg) zurück. Man erhält also wieder:

mittlere Geschwindigkeit über Brandenburg: 45,0 km/st
mittlere Geschwindigkeit über Berlin: 27,0 km/st

Der Geschwindigkeitsverlust auch in diesem Falle ist ziemlich erheblich.

Fig. 11 zeigt uns wieder die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schauers von 5 zu 5 Minuten über der Stadt.

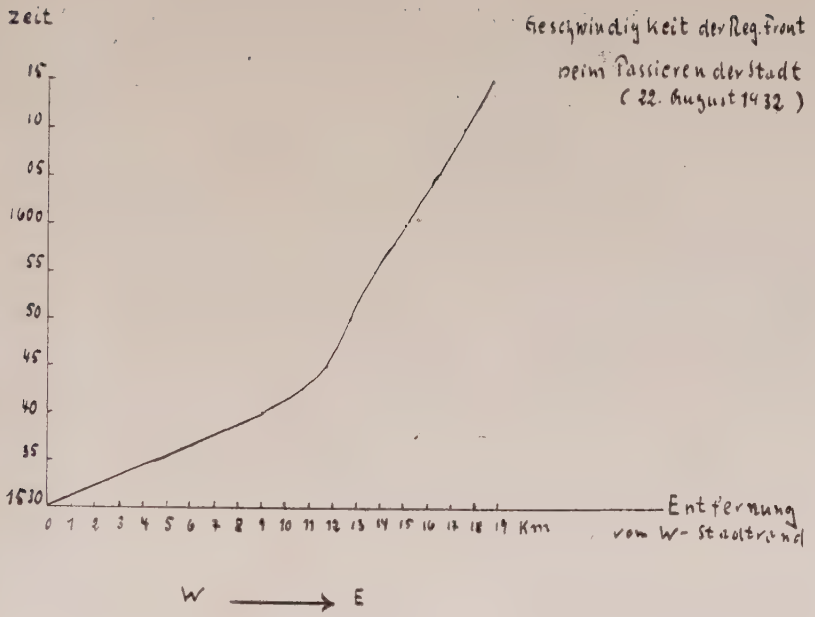


Fig. 11

Während der ersten 10 Minuten bleibt die Geschwindigkeit unverändert.

Die Front liegt in dieser Zeit 9 km zurück, was einer Geschwindigkeit von 54 km/st entsprechen würde. 15.40 bis 15.45 Uhr ist die zurückgelegte Strecke nur noch 2,7 km lang, dem entspricht eine Stundengeschwindigkeit von 32,4 km. Nach weiteren 5 Minuten, um 15.50 Uhr, sind nurmehr 1 km zurückgelegt worden, und die Ausbreitung ist auf 12 km/st abgebremst worden. Diese Geschwindigkeit bleibt dann bis 16.15 Uhr im wesentlichen unverändert. Diese Verzögerung der Regenausbreitung vermag jedoch keine größere Niederschlagsproduktion hervorzubringen. Der Grund hierfür ist im Regenende zu suchen, wie man gleich sehen wird.

Das Regenende.

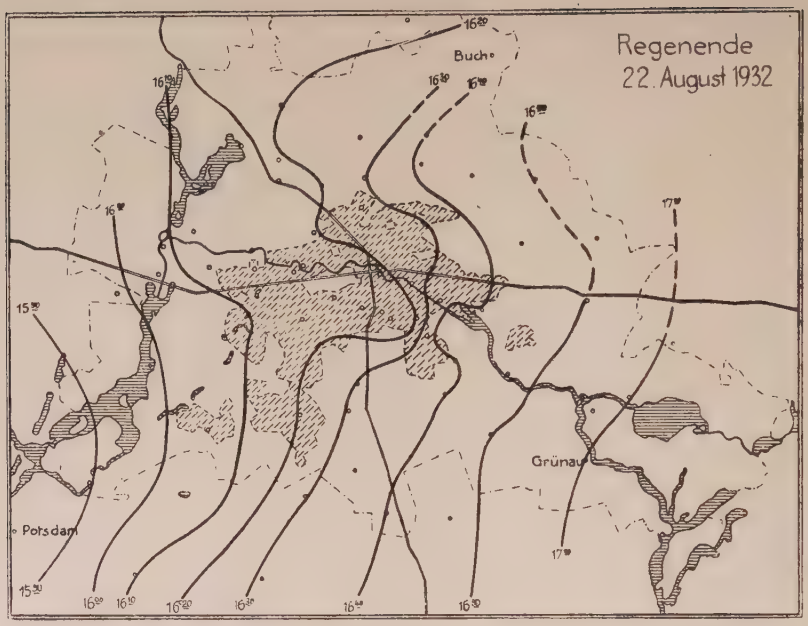


Fig. 12

Die Isochronen des Regenendes nahmen bei den schon besprochenen Fällen einen Verlauf, aus dem zu sehen war, daß sich die Schauerrückseite zwar stark verlangsamt, aber doch relativ gleichmäßig fortbewegte.

Bei Fig. 12 fällt nun sofort auf, daß der mittlere Teil der Schauerrückseite stark nach vorn, nach Osten vorgeschoben ist.

Mit anderen Worten, es hat über der mittleren Stadt schon aufgehört zu regnen, während es an den entsprechenden Stationen nördlich und südlich der Stadtmitte noch einige Zeit weiter regnet.

Dieser Umstand kommt dann natürlich wieder in der Andauer zum Ausdruck, und das Dauerminimum lag ja entsprechend über der mittleren Stadt.

Die Zuggeschwindigkeit der Regenfront.

Vergleicht man nun wieder das Vorwärtsschreiten der Vorderseite des Regenbandes mit der Rückseite, so findet man, daß das Regenende sich diesmal schneller über der Stadt fortpflanzt als der Regenbeginn. Es werden als mittlere Zuggeschwindigkeiten über dem Stadtgebiet erreicht von der

Schauervorderseite: 27 km/st
Schauerrückseite: 36 km/st

Nach einer gewissen Zeit müßte demnach die Rückseite die Schauervorderseite eingeholt haben und so den Niederschlag beenden.

Die Regenfront würde gewissermaßen von hinten „aufgerollt" werden.

Dieser Vorgang kommt hier allerdings nicht vollständig zur Auswirkung. Das Niederschlagsminimum über dem Stadtgebiet kann aber als Teilergebnis dieser Erscheinung gedeutet werden.

Fig. 13 gibt wieder die Gesamtdarstellung der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Schauerfront.

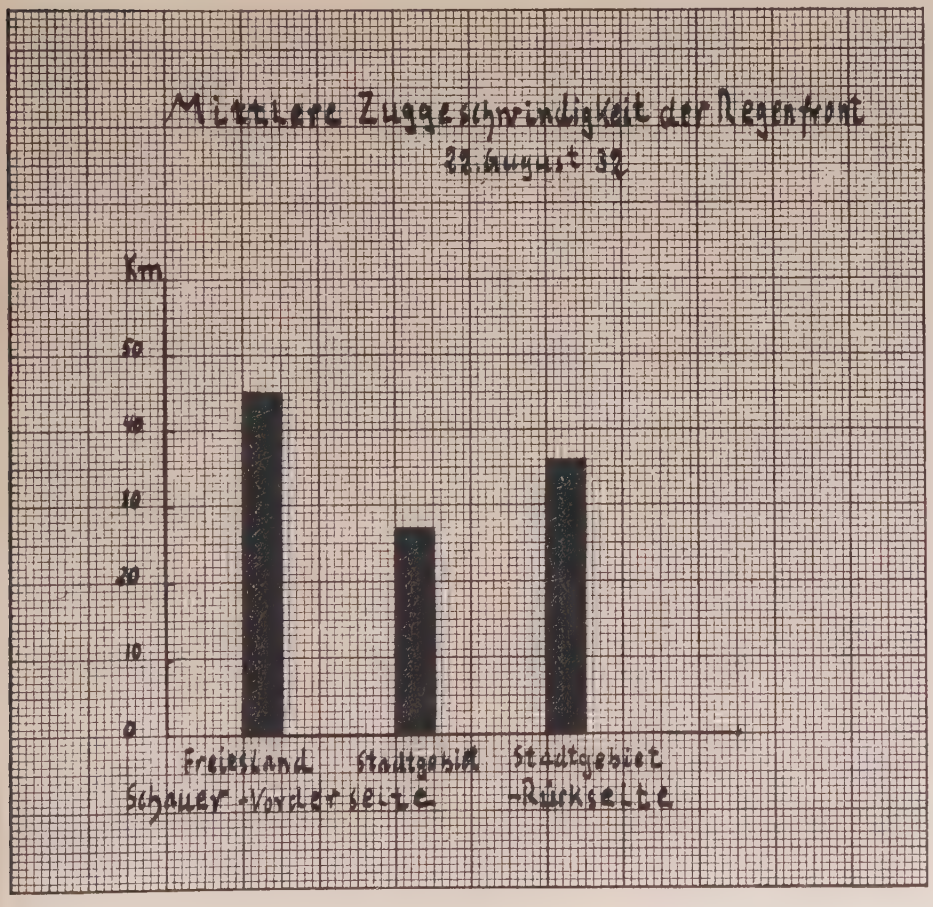


Fig. 13

Die Regenausdehnung.

Die Ausdehnung des Regenschauers zeigt uns Fig. 14. Um 16.10 Uhr hat die Vorderseite des Schauers gerade den Ostrand der Stadt erreicht, während es zur selben Zeit im Westen aufhört. Die Breite der überregneten Zone beträgt rund 17—20 km.

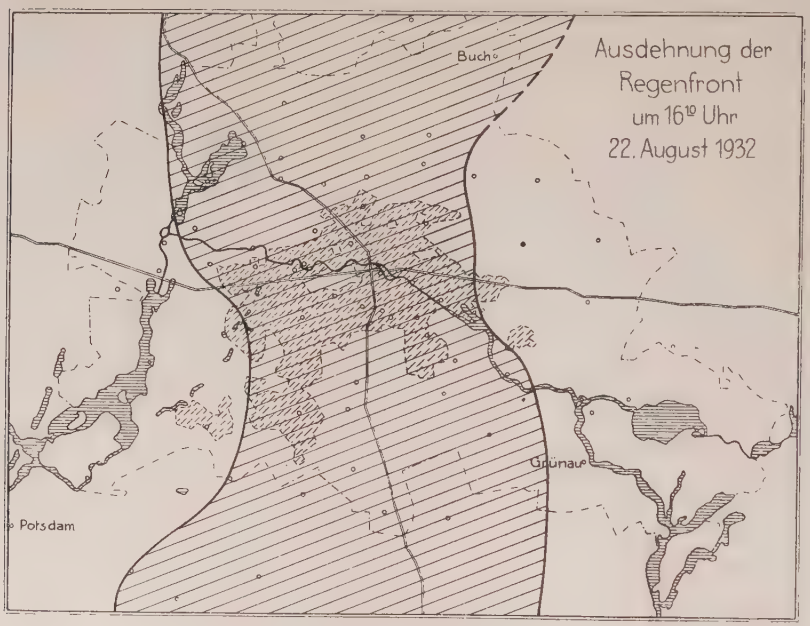


Fig. 14

Gewitterregen mit Hagel vom 29. April 1934.

In den späten Abendstunden des 29. April ging über Berlin ein äußerst heftiges Unwetter hernieder, dessen nähere Begleitumstände nicht durch starke Luftbewegung, sondern durch einen wolkenbruchartigen Regenfall mit Hagel und elektischen Entladungen charakterisiert werden.

Die Hagelkörner waren von beträchtlicher Größe.

Fig. 1

Obenstehende Figur gibt in natürlicher Größe eine Darstellung der vom Verfasser im Westen der Stadt, im Grunewald, beobachteten Hagelsteine. Die Struktur war die bei Hagelkörnern meist vorzufindende. Der obere, schraffierte Teil bestand aus milchig undurchsichtigem Eis, während der untere klar und durchsichtig war. Wie stark das Unwetter wütete geht auch daraus hervor, daß im Norden der Stadt, im Zentrum des Starkregens, in einer Straße 9 getötete Spatzen aufgefunden wurden.

Nachstehende Figur zeigt das Diagramm des außerordentlich ergiebigen Starkregens der Station Reinickendorf I.

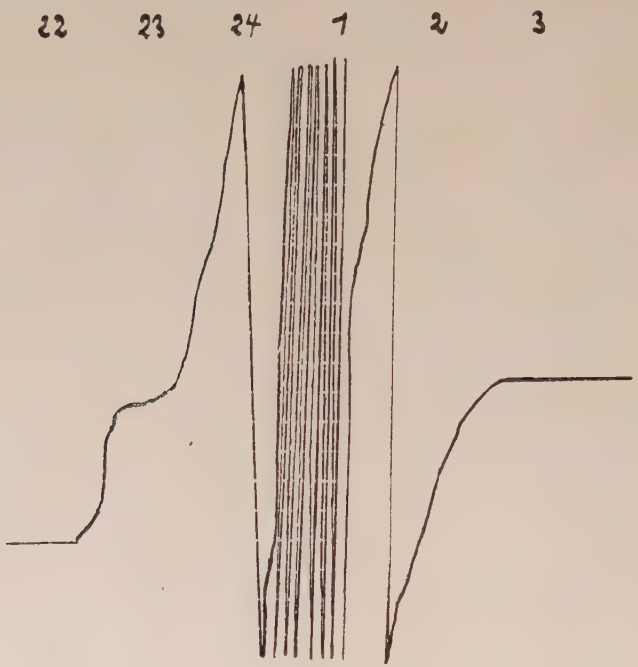


Fig. 2

Die Niederschlagssumme.

Abbildung 3 zeigt die Summenverteilung des Niederschlages über dem Gebiet von Groß-Berlin. Man sieht, wie beträchtlich die Unterschiede vor allem im Kerngebiete sind.

Im Zentrum des Niederschlagsgebietes fielen auf den Quadratmeter Boden 100 Liter Wasser in einem Zeitraum von etwa 4 Stunden. D. i. nicht weniger als der 6. Teil der mittleren Gesamtsumme des Niederschlages, der in Berlin im Laufe eines Jahres fällt. Beachtlich ist die vollkommene Geschlossenheit des Regengebietes in Verbindung mit den erheblichen Mengendifferenzen auf kleinstem Raume.

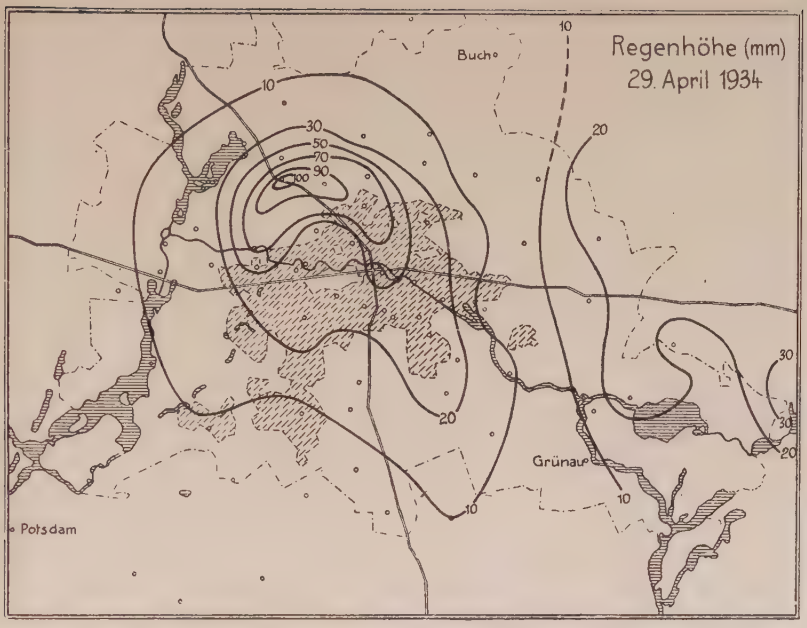


Fig. 3

Um nun das Woher dieses Regengusses festzustellen, betrachten wir nun näher den

Der Regenbeginn.

Figur 4 bringt die Isochronen des Regeneinsatzes zur Darstellung. Man bemerkt, daß es sich zunächst um einen Regenzug handelt, der aus östlicher Richtung heranzieht, und der um 21.50 Uhr im Osten Berlins zu finden ist.

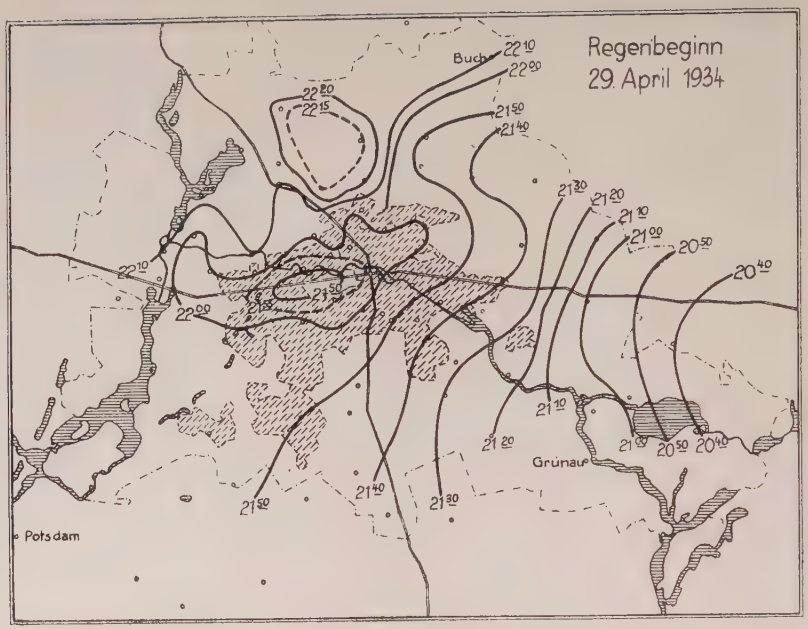


Fig. 4

Darauf ereignet sich folgendes: Der Regenzug wandert über dem eigentlichen Stadtgebiet nicht weiter, dagegen setzen zur gleichen Zeit, 21.50 Uhr, etwa in der Tiergarten-Gegend, die Niederschläge ein, um sich von diesem „Quellgebiet" nach allen Seiten weiter auszubreiten.

Im weiteren Verlauf des Umschichtungsprozesses erscheint noch ein zweites Quellgebiet im Raume Weidmannlust-Reinickendorf I und Rosenthal, in dem sich die Vorgänge in ähnlicher Weise abspielen.

Das Regenende.

Noch einheitlicher wird das Bild, wenn man das Ende des Niederschlages untersucht.

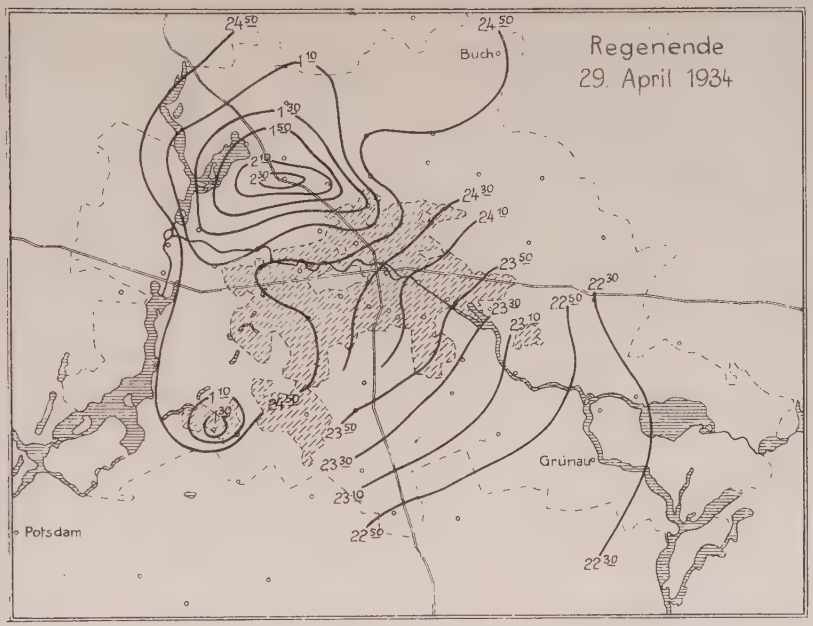


Fig. 5

Figur 5 zeigt, wie auch das Aufhören des Regens zunächst von Osten nach Westen fortschreitet.

Das Hauptregengebiet jedoch weist andere Verhältnisse auf. Hier kommt deutlich zum Ausdruck, daß es sich nicht um eine fortschreitende Niederschlagsfront, sondern um ein stationäres Regengebiet handelt.

Der Ausgangsort ist auch wieder Endpunkt der Niederschlagstätigkeit. Das Regengebiet schrumpft immer mehr in sich zusammen.

Aus den Werten Regenbeginn und Regenende ergibt sich dann die Regendauer.

Figur 6 bringt die Isochronen der Niederschlagsdauer von 20 zu 20 Minuten zur Darstellung.

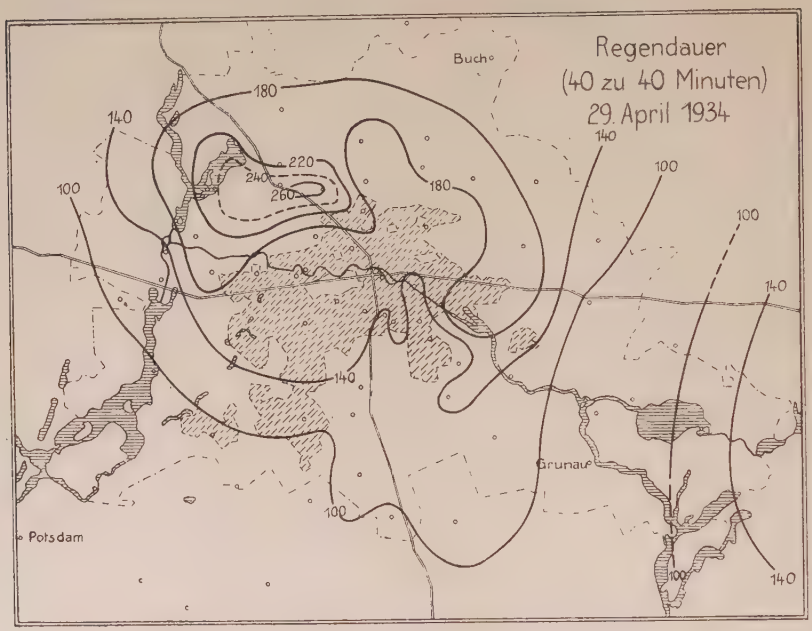


Fig. 6

Das Bild ist ähnlich der Summendarstellung. Der Schwerpunkt liegt auch hier bei den Stationen Reinickendorf. Wo der meiste Niederschlag gefallen ist, hat es auch am längsten geregnet.

Die Regendichte.

In ähnlicher Weise macht sich auch die Regendichte bemerkbar, deren Verteilung Figur 7 zeigt.

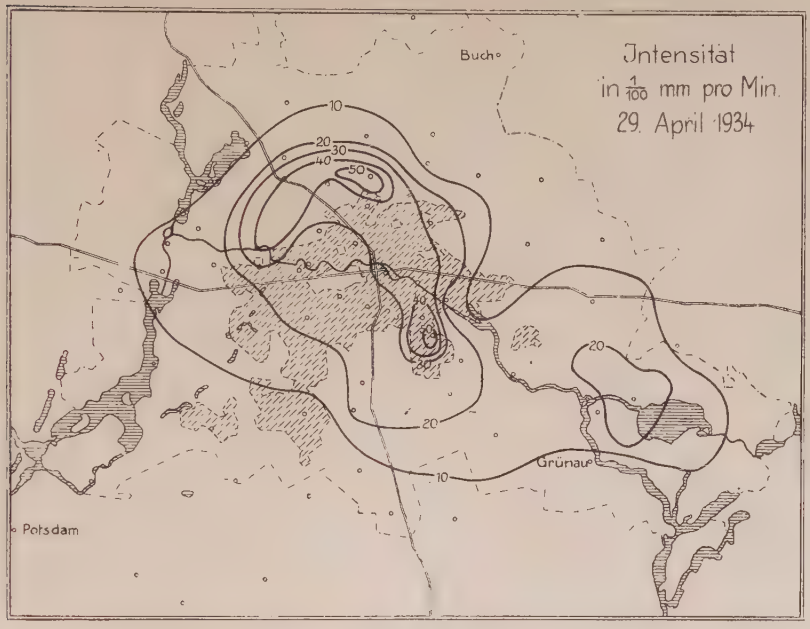


Fig. 7

Auch hier gehört das Gebiet nordwestlich Berlins zu der Zone größter Intensität. Die Wasserproduktion beträgt hier 4—5 mm innerhalb 10 Minuten.

Im Folgenden sollen nun die meteorologischen Bedingungen untersucht werden, unter denen es zur Auslösung eines derartigen Starkregens kommen konnte.

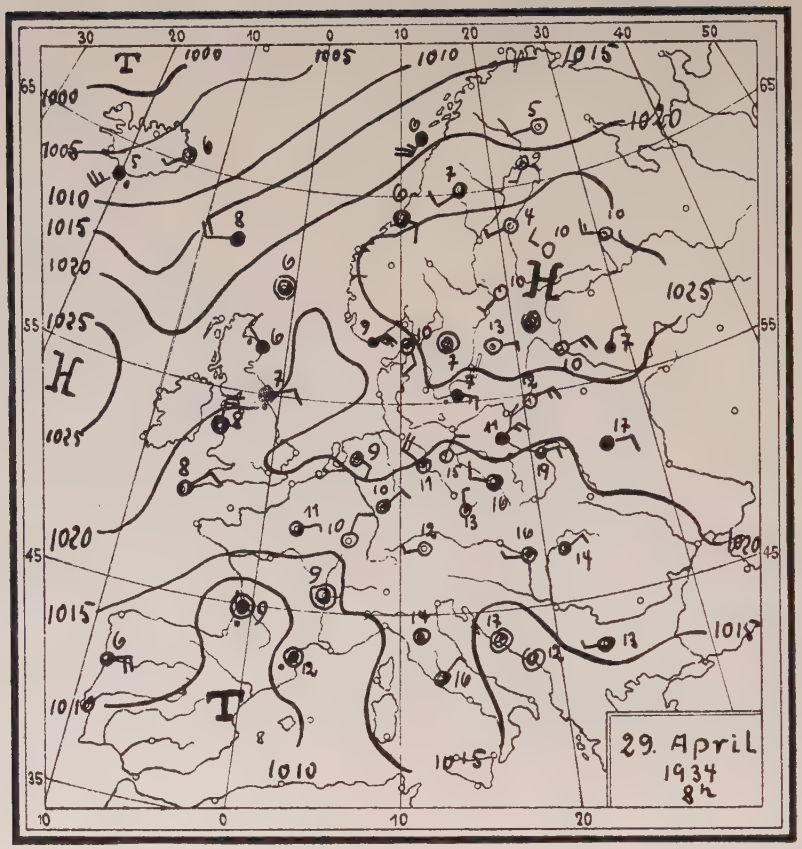


Fig. 8

Die Wetterlage vom 29. April 1934.

Im Bereich einer Hochdruckbrücke, die von den Azoren bis nach Rußland reicht, hat sich über dem Ostseegebiet ein Gebiet hohen Druckes gebildet, dem kühlere Luftmassen nach südlichen Richtungen entströmen.

Das Druckgefälle nimmt nach Süden ab und läßt einen Tiefdruckkern über Südwest-Europa erkennen. Ueber Nord- und West-Deutschlands strömen kältere Luftmassen, während im Osten und Südosten die Temperaturen wesentlich höher liegen.

Im Kartenbereich (Fig. 9) traten Niederschläge und Gewitter am 29. April zu den verschiedensten Zeiten auf.

Figur 9 zeigt die mengenmäßige Verteilung der Niederschläge in Norddeutschland. Man sieht, daß das Berliner Regengebiet ein

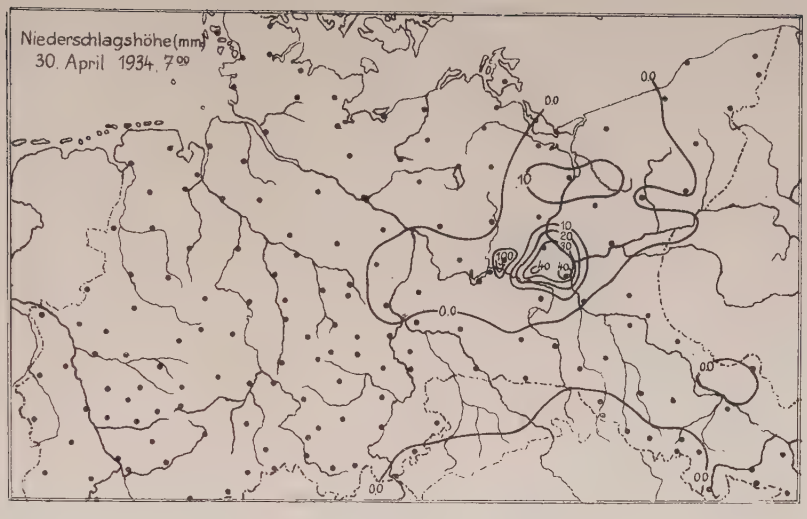


Fig. 9

Anhängsel eines über Ostdeutschland sich erstreckenden Niederschlagsgebietes ist. Mengenmäßig übertrifft es alle anderen Stationen bei weitem.

Figur 10 zeigt den Verlauf des Regen- und Gewitterzuges, dem das Berliner Regengebiet zugeordnet ist. Diesen Regen- und Gewitterzug findet man gegen 16 Uhr etwa bei Crossen a. Oder, von wo er in westlicher Richtung vorrückt. In Berlin beginnen die Niederschläge gegen 22 Uhr.

Aus der Zugrichtung dieser Störung ist der Schluß nicht schwer zu folgern, daß es sich um ein Ostgewitter handeln könnte.

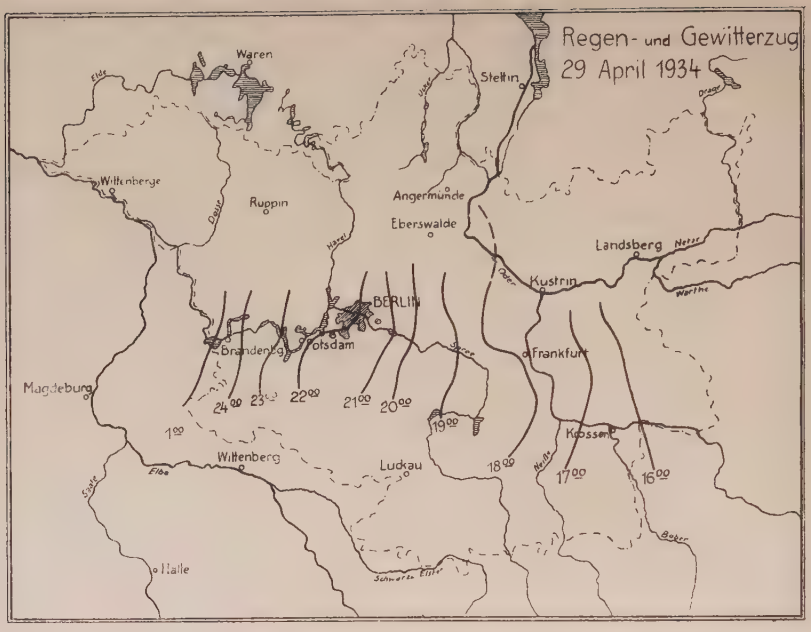


Fig. 10

Schon die Druckverteilung, hoher Druck im Norden Europas und tiefer im Süden, schafft die Bedingungen zur Entstehung und Ausbreitung von Ostgewittern. Zyklonale Isobarenkrümmung, die die Entwicklung dieser Gewitter zu begünstigen scheint [1]), wird auch in dem hier besprochenen Falle vorgefunden, desgleichen die von König [2]) hervorgehobene Tatsache, daß diese Art von Gewitter an der Westseite einer sich von Süden nach Norden erstreckenden Wärmezunge auftreten. Die hier vorliegenden Temperaturverhältnisse wurden schon weiter oben behandelt.

Weiter wurde von verschiedenen Verfassern, so Cave [3]), beobachtet, daß diese Gewitter dann auftraten, wenn eine kühlere Strömung von einer wärmeren überweht wurde. Troeger [4]) spricht daher auch von „Sperrschichtgewittern" oder „Warmfrontgewittern".

---

1) Scherhag, über die atmosphärischen Zustände bei Gewittern, Dissert. Berlin 1931, S. 37.

2) W. König, über die Gewittervorhersage in Norddeutschland. Das Wetter 1919 s. 129.

3) Cave, the strukture of the atmosphere in clear weather.

4) Troeger, Die Einteilung der Gewitter, Das Wetter 1919, S. 92. Die Gewitterarten vom aerologischen Standpunkt, Met. Z. 1928, S. 485.

Der Flugzeugaufstieg von Tempelhof vom 29. April, 8 Uhr, scheint tatsächlich diese atmosphärische Schichtung zu zeigen.

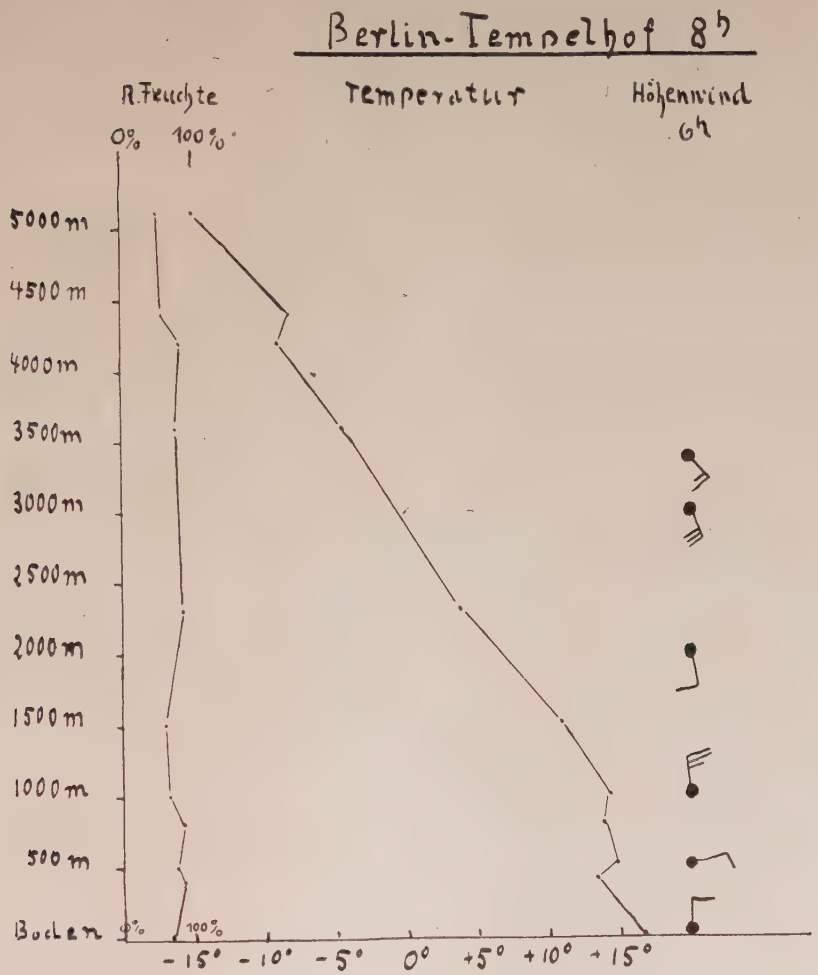


Fig. 11

Man findet ab 400 m eine Zunahme der Temperatur und von 500—1000 m herrscht annähernd Isothermie. Die Pilotierung ergab die Werte:

Boden: N 2
500 m: E z N 2
1000 m: N z W 5
2000 m: S z E 2

Innerhalb der Inversion und Isothermie herrscht also über einer verhältnismäßig seichten Bodenschicht mit Nordwind ab 500 m eine Ostströmung. Diese wird von 1000 m an wiederum von einer Nordströmung relativ stärkerer Geschwindigkeit abgelöst, der dann ab 2000 m bis 3500 m (Ende der Pilotierung) wieder Winde mit südlicher Komponente folgen. In schematischer Weise sind diese Verhältnisse in Figur 12 dargestellt.

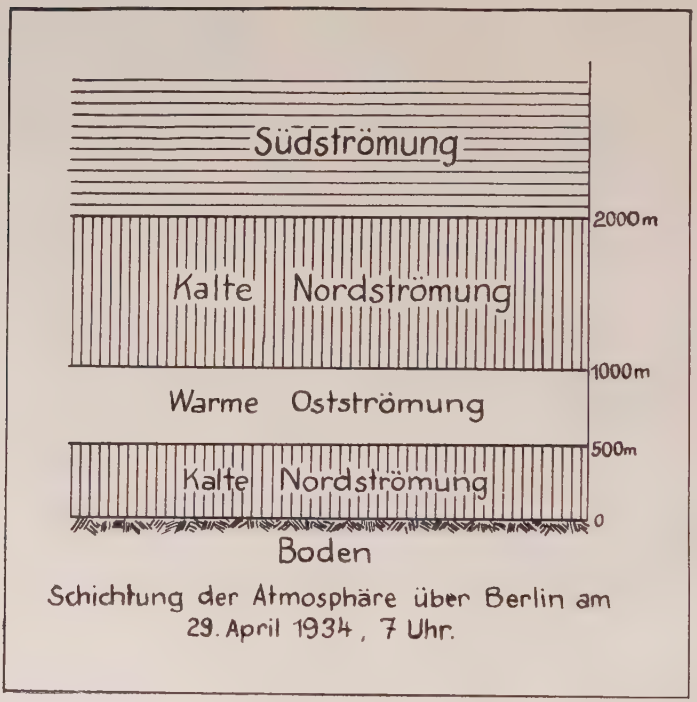


Fig. 12

Im Verlauf des 29. 4. herrschte tagsüber wolkiges schwüles Wetter. Infolge der Sonneneinstrahlung konnten die Temperaturen in Berlin-Dahlem bis auf 22,5 Grad ansteigen. Noch um 21 Uhr wurden 19 Grad abgelesen, gegen 10,8 Grad um 7 Uhr. Die Dampfdruckwerte erreichen an diesem Tage mit 12,2 mm (Berlin-Dahlem) den Maximalwert des Monats.

Es trifft sich gut, daß am 29. 4. noch ein zweiter Temp.-Aufstieg von 16 Uhr aus Tempelhof vorliegt, dessen dabei gewonnene Zustandskurve Figur 13 zeigt.

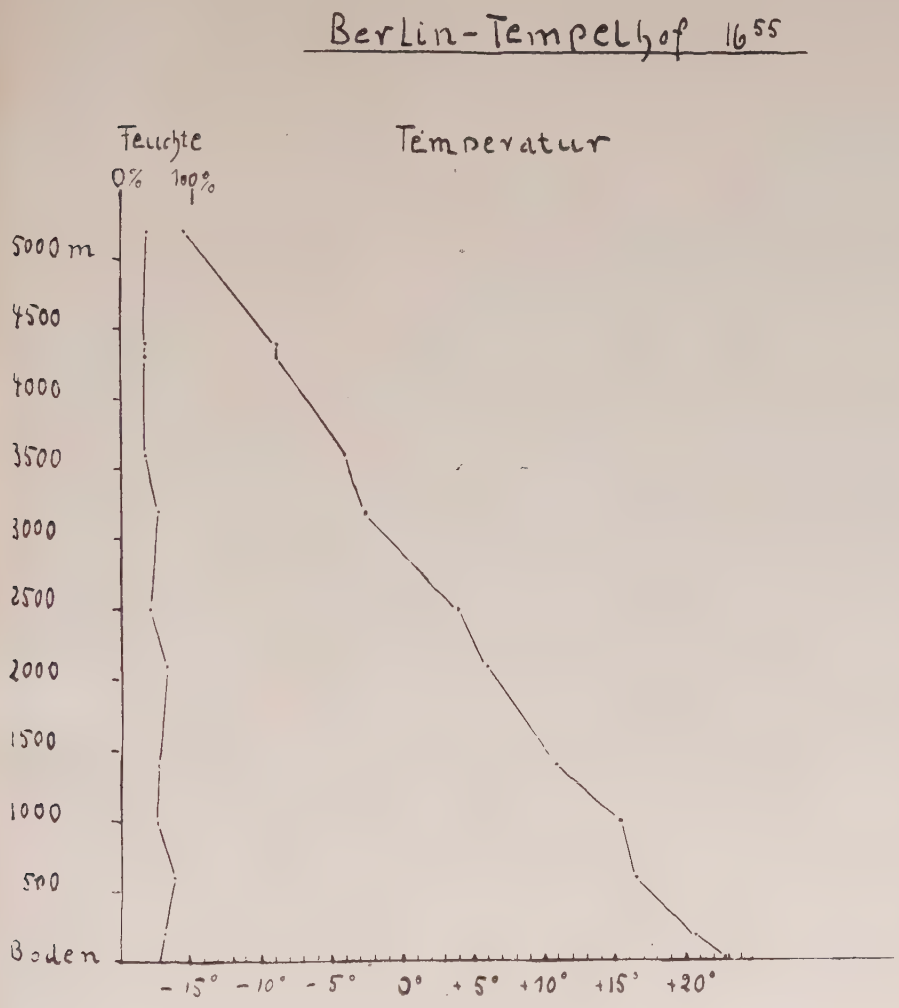


Fig. 13

Daraus geht hervor, daß die verhältnismäßig kühlere Bodenschicht durch die Insolation so stark erwärmt ist, daß die Bodentemperatur mit dem Wert von 22,7 Grad noch 2 zehntel Grad über dem in Dahlem gemessenen Tagesmaximum der Temperatur liegt.

In 200 m Höhe wurden 20,7 Grad und in 600 m 16,5 Grad gemessen. Daraus ergibt sich ein Temperaturgradient von genau 1 Grad pro 100 m, in Verbindung mit der relativen Feuchte, die vom Boden bis 600 m 60—80% beträgt, ist leicht einzusehen, daß diese Schichtung der Atmosphäre stark instabil sein muß.

So erhält man insgesamt das Bild eines mit Hagelfall und Gewitter verbundenen Starkregens, der, jedenfalls soweit es sich um das Berliner Kerngebiet handelt, den Charakter eines Wärmegewitters aufweist, wofür auch die Art des Beginns und des Aufhörens des Regens spricht.

Der Gewitterzug, der gegen 21 Uhr im Osten von Berlin steht, stellt sich als zum Typus der Ostgewitter gehörig dar, der durch die allgemeine, diese Gewitterart begünstigende Wetterlage der Höhenströmung folgt und sich nach Westen ausbreitete.

Hierbei drängt sich weiter die Vermutung auf, daß dieser Gewitterzug die Rolle einer „Initialstörung“ [5]) übernommen hat, die bei ihrem Vorrücken westwärts über Berlin ein aufgelockertes, durch Instabilität ausgezeichnetes Luftmassengebiet vorfindet und das so zum plötzlichen Umsturz gebracht wird.

Diese „Initialbö“ braucht keine „Bö“ zu sein, die durch Hereinbrechen neuer Luftmassen entstanden ist. So sind denn auch im Anemogramm der Station Invalidenstraße z. Zt. des Regenbeginns gegen 22 Uhr weder ein Windsprung noch eine Steigerung der Windgeschwindigkeit zu bemerken.

Dagegen weist die Temperatur-Registrierung z. Zt. des Starkregens einen deutlichen Abfall von 4 Grad auf, auch im Barogramm ist eine Gewitternase erkenntlich.

Dieser scheinbare Widerspruch erklärt sich aber, wenn man den zeitlichen Ablauf dieser Vorgänge näher betrachtet, man findet folgendes:

Station Neukölln:

Regenbeginn	21.30 Uhr
Temperaturabfall	22.00 Uhr
Druckstufe	23.40 Uhr

mit anderen Worten: der Temperaturabfall ist als Folge der durch den Niederschlag hervorgerufenen Abkühlung anzusehen, die Differenz von 4 Grad liegt auch durchaus im Bereich der möglichen Größenordnung.

Die so gebildete kalte Luft vermag dann als Initialstörung die instabil geschichteten Luftmassen als Wärmegewitter zur Auslösung zu bringen. Tatsächlich beginnen dann auch z. Zt., da der

5) v. Ficker, Ueber die Entstehung lokaler Wärmegewitter, Sitzungsberichte der Preuß. Akademie der Wissenschaften.

Thermograph im Südosten der Stadt die durch das westwärts vorrückende Regenband hervorgerufene Abkühlung anzeigt, über der Stadtmitte die Niederschläge.

Das Entstehen der Druckstufe wiederum liegt zeitlich so, daß es mit der Beendigung des Abkühlungsprozesses zusammen fällt. Zur selben Zeit, da im Thermogramm das Ende des Temperaturrückganges registriert wird, erscheint die Druckstufe, die damit als Folge der Abkühlung anzusehen ist. Im weiteren Verlauf hält die fallende Tendenz des Barometers, die auch vor der Druckstufe zu beobachten war, an.

Beachtlich ist weiterhin ein Wiederansteigen der Temperatur nach dem Rückgang, das etwa mit dem Aufhören des Regens beginnt. Der Anstieg beträgt 1,5 Grad, erst gegen 3 Uhr morgens sinkt die Temperatur wieder ab.

Dieser Temperaturanstieg ist um so bemerkenswerter, als er sich mitten in der Nacht abspielt, zwischen 23 und 24 Uhr. Das dürfte ein weiterer Beweis dafür sein, daß die Abkühlung nicht auf advektive Vorgänge zurückzuführen ist, sondern eine Folgeerscheinung des Niederschlages ist, deren Ausmaß von ihm abhängig ist und die dann zu Ende ist, wenn auch die Niederschlagstätigkeit vorüber ist, um dann wieder Angleichung an normale Temperaturverhältnisse zu bringen, die sich in unserem Falle in eben diesem nächtlichen Temperaturanstieg äußert.

Zur Frage nach der Herkunft der Kaltluft im Gebiet eines Wärmegewitters schreibt v. Ficker [6]) „ob diese kalte Luft eine Folge des Gewittervorganges ist, oder ob ein Einschub kalter Luft das Gewitter erst auslöst, muß noch als strittige Frage betrachtet werden".

In seiner Arbeit „Ueber die Entstehung lokaler Wärmegewitter" [7]) hat dann v. Ficker selbst in überzeugender Weise den Nachweis geliefert, daß wohl ein Einschub kalter Luft aus kühleren Randgebieten einen wärmegewitterartigen starken Regenguß zur Auslösung zu bringen vermag.

Daneben scheint aber auch die andere Möglichkeit zu bestehen, daß das Auftreten kühlerer Luft als Folgeerscheinung starker Niederschläge und der damit verbundenen Verdunstung anzusehen ist. Die den Umsturz der Luftmassen einleitende kalte Luft wird hier gewissermaßen am Ort des Geschehens selbst gebildet. Dieser Fall kann aber nur dann eintreten, wenn eben ein Regen- oder Gewitterzug, der das Gebiet stark aufgelockerter Luftmassen berührt, die nötigen Voraussetzungen schafft.

6) v. Ficker, in Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik Bd. V 1, Seite 133.
7) derselbe a.a.O. (Fußnote 5).

Zusammenfassung.

Mittels vorliegender Fälle wurde versucht, den evtl. Einfluß einer durch die Großstadt bedingten Massenanhäufung auf eine sich verlagernde Regenfront festzustellen.

Am naheliegensten war wohl zunächst die Frage, ob durch den Stadteinfluß eine gewisse Mengenerhöhung des Niederschlages zu erwarten wäre. In zwei Fällen, dem 7. Juli und dem 4. Oktober, stellte man auch ein Niederschlagsmaximum über dem mittleren Stadtteil fest. Hingegen weist der letzte Fall, der 22. August, in dieser Hinsicht gerade das Gegenteil auf.

Aus der weiteren Fragestellung, welcher von den zwei Faktoren, Regendauer und Regendichte, maßgebend und ausschlaggebend am Aufbau eines Niederschlagsmaximums beteiligt sei, folgte die Errechnung einer Gleichung, mit der es möglich ist, den prozentualen Anteil jedes dieser zwei Elemente an der Produktion größerer Wassermengen festzustellen.

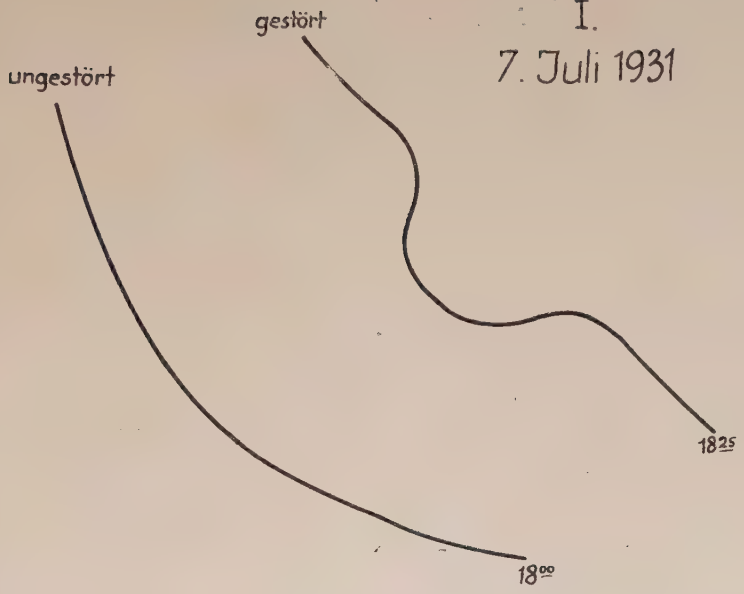
Als Gesamtergebnis erhielt man immer eine überwiegende Bedeutung der Regendichte.

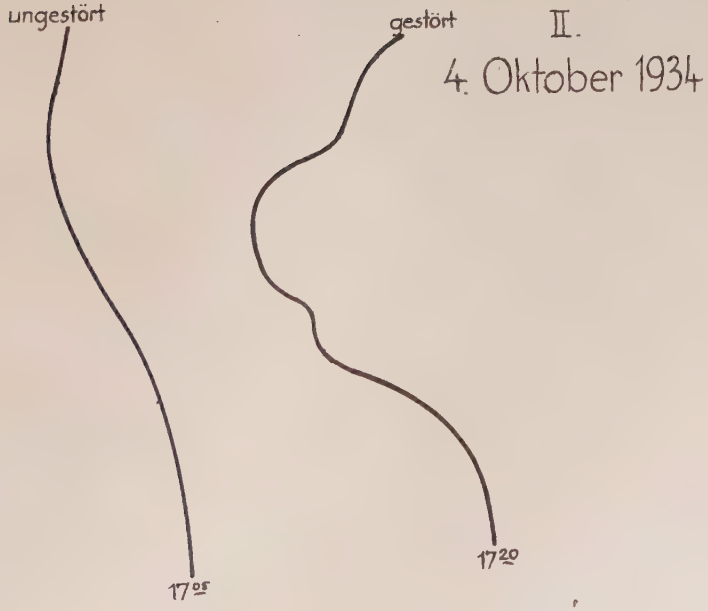
Weiter ist bei allen drei Fällen übereinstimmend die abbremsende und deformierende Wirkung der Stadtmasse festzustellen.

Die mittlere Zuggeschwindigkeit der Regenfront über dem Stadtgebiet liegt um einen erheblichen Betrag niedriger, als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit über freiem Lande.

Was die äußere Deformation der Regenfront betrifft, so ist ebenfalls eine deutliche Einwirkung der Häusermassen zu erkennen.

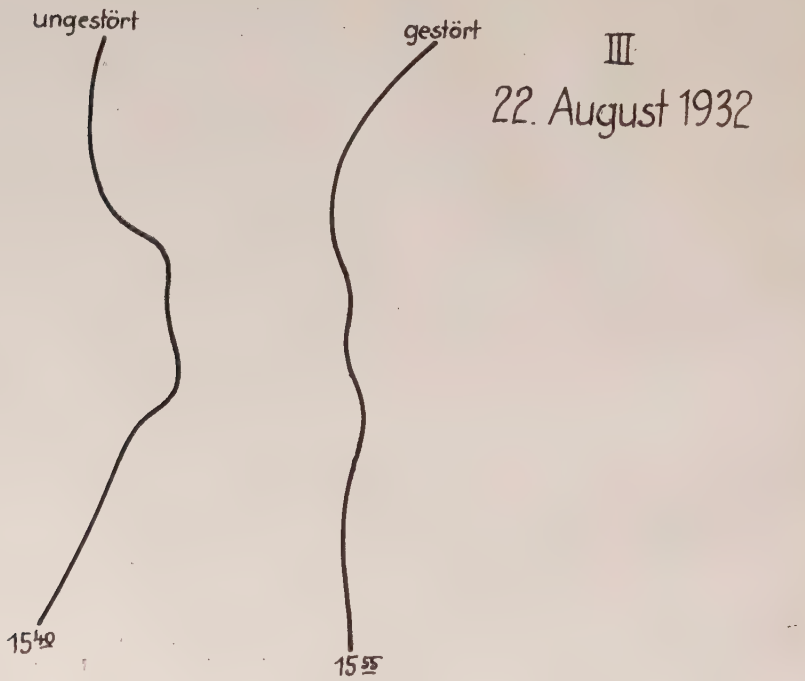
Umstehende Figur gibt in schematischer Weise eine Darstellung der Deformationsvorgänge bei der Frontpassage.


I.
7. Juli 1931
gestört
ungestört
18 25
18 00


ungestört
gestört
II.
4. Oktober 1934
17 05
17 20

Während es sich im ersten Falle um eine leicht nach rückwärts durchgebogene Front handelt, deren Mittelstück 25 Minuten später noch weiter zurückgeblieben ist, zeigt die Front am 4. Oktober in ihrem ungestörten Stadium um 17.05 Uhr einen ziemlich gradlinigen Verlauf, der dann nach einer Zeit von 15 Minuten eindeutig die Hinderniswirkung der Stadt erkennen läßt.

Bei der Umformung der Regenfront vom 22. August ist zu bemerken, wie der mittlere Teil der Front, der zunächst nach vorn vorgeschoben ist, im weiteren Verlauf des Vorganges eingedrückt wird und so ebenfalls die bei den anderen Beispielen gefundene Bremswirkung der Häusermassen veranschaulicht.



Bei der Behandlung des letzten Falles wurde festgestellt, daß man es mit zwei Vorgängen zu tun hat, die man auseinander halten muß.

Einmal ist der zum Typus der Ostgewitter gehörende Regenzug zu beachten, dann der eigentliche stationäre Starkregen, der zwei Entstehungszentren, Quellgebiete, aufweist, von denen das eine mitten über der Stadt zu finden ist, während das andere etwas nördlich davon liegt.

Der zweite, der Hauptvorgang, ist ein Beispiel dafür, daß die Annahme v. Fickers, Wärmegewitter, oder wärmegewitterartige Regenfälle würden durch den Einschub kühlerer Luft ausgelöst, auch in diesem Falle Geltung besitzt.

Diese Tatsache konnte noch dahingehend erweitert werden, daß die kühle Luft nicht böenartig aus kälteren Randgebieten anzuströmen braucht, sondern daß sie unter gewissen Umständen am Ort des Geschehens selbst gebildet werden kann und so die auslösende Wirkung hervorzubringen vermag.

Lebenslauf.

Am 15. Oktober 1908 wurde ich als Sohn des Stellmachermeisters Wilhelm Belger und seiner Ehefrau Elise zu Gröbzig/Anhalt geboren. Ostern 1928 verließ ich die Oberrealschule zu Köthen und besuchte daraufhin die Universitäten Marburg/Lahn, Graz und Berlin.

Meine Lehrer waren in Marburg die Herren Professoren:

von Auwers, Grüneisen, Jaeck, Neumann, Schultze/Jena, Tomaschek, Thiel.

In Graz:

Alfred Wegener, Böhm, Hillebrand, Rumpf.

In Berlin die Herren Professoren:

Defant, v. Ficker, Henning, Hergesell, Kähler, Knoch, Kohlhörster, Robitzsch, Rieffert, Schumann, Vierkandt.

Allen meinen Lehrern, besonders Herrn Professor Knoch, der mir die Anregung zu dieser Arbeit gab, bin ich zu Dank verpflichtet.

Außerdem danke ich der Berliner Stadtentwässerung, die mir in dankenswerter Weise das Material zur Verfügung stellte.